

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO – UFES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL – PPGEC

ANNA PAULA SCARDUA BERNARDES

**ESTUDO DA CRITICIDADE DE ATIVOS GEOTÉCNICOS DO TIPO CORTE EM
FERROVIA COM O USO DO PROCESSO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA (AHP)**

VITÓRIA
2019

ANNA PAULA SCARDUA BERNARDES

**ESTUDO DA CRITICIDADE DE ATIVOS GEOTÉCNICOS DO TIPO CORTE EM
FERROVIA COM O USO DO PROCESSO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA (AHP)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Kátia Vanessa Bicalho

VITÓRIA

2019

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de
Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

B518e BERNARDES, ANNA PAULA SCARDUA, 1984-
ESTUDO DA CRITICIDADE DE ATIVOS
GEOTÉCNICOS DO TIPO CORTE EM FERROVIA COM O
USO DO PROCESSO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA (AHP) /
ANNA PAULA SCARDUA BERNARDES. - 2019.
241 f. : il.

Orientadora: KATIA VANESSA BICALHO.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade
Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico.

1. FERROVIA. 2. INSPEÇÃO. 3. ATIVOS. 4.
SUSCETIBILIDADE. 5. MÉTODO AHP. I. BICALHO, KATIA
VANESSA. II. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro
Tecnológico. III. Título.

CDU: 624

ANNA PAULA SCARDUA BERNARDES

**ESTUDO DA CRITICIDADE DE ATIVOS GEOTÉCNICOS DO TIPO CORTE EM
FERROVIA COM O USO DO PROCESSO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA (AHP)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil.

Aprovada em 29 / 03 / 2019

BANCA EXAMINADORA



Prof.^a Dr.^a Kátia Vanessa Bicalho
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientadora



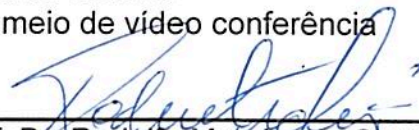
Prof.^a Dr.^a Marta Monteiro da Costa Cruz
Universidade Federal do Espírito Santo
Membro interno



Prof. Dr. Bruno Teixeira Dantas
Universidade Federal do Espírito Santo
Membro interno



Prof. Dr. Luiz Antonio Bressani
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Membro externo
Por meio de vídeo conferência



Prof. Dr. Rodolfo Moreira de Castro Junior
Universidade Federal do Espírito Santo
Membro externo

“Comece fazendo o que é necessário, depois o que é possível, e de repente você estará fazendo o impossível”.

(São Francisco de Assis)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por sempre iluminar meus passos e por colocar em meu caminho pessoas que me ajudaram, inspiraram e encorajam a ser cada dia uma pessoa melhor.

À professora Katia Vanessa Bicalho pela paciência e por compreender a vida corrida de uma mãe-mestranda-trabalhadora, que por vezes se enrolou na escrita do trabalho e demais demandas solicitadas.

Ao professor Luiz Antônio Bressani, que mesmo tão longe se fez tão presente com seus incentivos e conselhos, sendo decisivo para o ânimo na reta final de conclusão.

Ao meu filho Joaquim, pelos beijinhos, abraços apertados, brincadeiras e por sempre me receber com o maior sorriso do mundo quando eu retornava das viagens à trabalho. E ao Luiz, por ser o pai que é, e pelo apoio, paciência e perseverança.

À minha mãe, minha grande incentivadora e vovó-babá de Joaquim nas minhas ausências, por me ensinar diariamente a ser guerreira, honesta e que ter um coração bom é viver com leveza. E ao meu pai, que mesmo tendo apenas o segundo ano primário, é o melhor engenheiro que conheço.

Aos meus conselheiros, tutores, exemplos de profissionais e amigos da EFVM, Antônio Cochetto, Carlos Fonseca e Calixto Pestana, por toda troca de experiência, ideias, discussões produtivas, visitas a campo e pelo amor à ferrovia. Este trabalho foi feito a oito mãos.

E pôr fim, aos demais amigos da Vale, pelo aprendizado contínuo. Vocês me incentivam e desafiam diariamente a ser uma profissional melhor.

RESUMO

A Estrada de Ferro Vitória a Minas (EFVM) possui 905 km de extensão, cruzando os Estados de Minas Gerais e Espírito Santo, e é suportada por 1.819 ativos geotécnicos do tipo talude de corte. As inspeções de ativos em campo atuam como ferramenta para observar e registrar as características relacionadas à condição do ativo, identificando problemas e auxiliando no direcionamento dos recursos necessários a garantir sua integridade estrutural e operacional, sendo essa, atualmente, a principal atividade detectora de defeitos na infraestrutura da via, caracterizando-se peça chave inicial para o programa de Gestão de Ativos (GA) local. Conforme definido na Estratégia de Manutenção a inspeção dos ativos geotécnicos é realizada de acordo com a criticidade do ativo, e foi constatada uma limitação na definição da criticidade desses ativos, uma vez que cada inspetor fez essa atribuição de acordo com sua experiência prévia, não havendo métodos e procedimentos definidos. Assim, este trabalho tem como objetivo principal sugerir a padronização dos critérios para definição da criticidade dos 167 ativos geotécnicos de corte localizados nos quilômetros 231 ao 383 da linha tronco da EFVM a partir dos dados constantes nas fichas de cadastro e inspeção desses ativos, adicionando o parâmetro afastamento do ativo da via à avaliação da suscetibilidade a deslizamento de terra, a partir de pesos e critérios definidos pelos especialistas em infraestrutura da EFVM, e com base em estudos prévios de mapeamento da suscetibilidade de deslizamentos de terra com a utilização do Processo de Análise Hierárquica (AHP). Os resultados encontrados para a classificação da criticidade referentes aos pesos atribuídos aos 5 indicadores (material do solo, afastamento ativo da via, inclinação, altura e presença de água) escolhidos pelos 3 Especialistas em infraestrutura da EFVM foram considerados muito satisfatórios e consistentes, além de refletirem a expectativa do inspetor do trecho estudado. A diminuição da subjetividade na definição da criticidade de ativos geotécnicos tipo corte com a incorporação do método AHP contribuiu de forma a melhorar a confiabilidade do diagnóstico de criticidade.

Palavras-chave: Ferrovia. Inspeção. Ativos geotécnicos. Suscetibilidade. AHP.

ABSTRACT

The Vitoria a Minas Railway (EFVM) - 905 km long, manages 1,819 slope type slides geotechnical asset acrossing the states of Minas Gerais and Espírito Santo. Field asset inspections act as a tool to observe and record the characteristic related to condition of the asset, identifying problems and assist in directing the necessary resources to ensure its structural and operational integrity; utilizing the defect detecting principals by featuring Local Asset management program (GA). As defined in existing Maintenance Strategy, geotechnical assets inspections are carried out based on Asset Criticality. Limitation was found in this approach due to inconsistency in defining "Criticality" where evaluation process from each inspector was made according to individual experiences, with no defined methods and procedures. The main objective of this work is to suggest the standardization the criteria for defining the criticality of the 167 geotechnical assets located at kilometers 231 to 383 of the EFVM trunk line obtained from registration and inspection records of these assets, isolation of track with assessment of landslide susceptibility, based on weights and criteria defined by infrastructure specialists of EFVM and Analytic Hierarchy Process (AHP). The results obtained for the classification of the criticality of the 5 indicators (soil material, active distance of the track, slope, height and presence of water) chosen by the 3 Infrastructure Specialists of the EFVM were considered very satisfactory and consistent, besides reflected the expectation of the inspector of the section studied. The decrease of the subjectivity in the definition of the criticality of geotechnical type cutting assets with the incorporation of the AHP method contributed in a way to improve the reliability of the diagnosis of criticality.

Keywords: Railroad. Inspection. Geotechnical assets. Susceptibility. AHP.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Relação entre os principais termos na Gestão de Ativos	26
Figura 2 – Processo de Gestão de Ativos em Infraestrutura Ferroviária.....	28
Figura 3 – Modelo de desempenho de ativos.....	29
Figura 4 – Estratégias de Manutenção e a Gestão de Ativos.....	35
Figura 5 – Infraestrutura X Superestrutura em ferrovias	37
Figura 6 – Fluxograma para gestão de ativos em infraestrutura	45
Figura 7 – Conceitos de acidente, evento e risco.....	55
Figura 8 – Etapas do processo de estudo do risco	59
Figura 9 – Classificação de métodos de avaliação de perigos a escorregamentos ..	62
Figura 10 – Classificação simplificada de movimentos de massa.....	71
Figura 11 – Agentes e causas dos escorregamentos e processos correlatos.....	75
Figura 12 – Principais problemas de estabilidade em taludes em rodovias do Estado de São Paulo.....	77
Figura 13 – Exemplo de estrutura hierárquica.....	81
Figura 14 – Escala de julgamento de importância do Método AHP	82
Figura 15 – Matriz de julgamento entre os critérios.....	83
Figura 16 – Critérios avaliados com seus respectivos pesos	84
Figura 17 – Normalização relativa dos pesos.....	84
Figura 18 – Matriz com os autovetores	85
Figura 19 – Comparação paritária entre as alternativas para cada critério	85
Figura 20 – Indicadores de Perigo e respectivas classes.....	88
Figura 21 – Analogia entre etapas referentes ao processo de Estudo do Risco Geotécnico proposto por Fell e Hartford (1997) com as atividades de Gestão de Ativos de infraestrutura propostas por Baldeiras (2008)	95
Figura 22 – Indicador criticidade afastamento do ativo geotécnico da via (X).....	98
Figura 23 – Exemplo e aplicação da escala fundamental de Saaty na comparação par a par do tipo de material e da inclinação do solo	101
Figura 24 – Gestão de ativos Geotécnicos com a utilização do AHP.....	103
Figura 25 – Medida realizada em campo do pé do talude ao eixo da via.....	104
Figura 26 – Indicadores definidos para cálculo da criticidade de taludes e respectivas classes	104
Figura 27 – Estruturação da planilha para cálculo da criticidade dos ativos	105

Figura 28 – Mapa da malha ferroviária da EFVM.....	108
Figura 29 – Imagem do antes x depois de implantação de obra de concreto projetado e solo grampeado no km 191+250 LT.....	109
Figura 30 – Ficha de cadastro de corte/aterro EFVM.....	115
Figura 31 – Ficha de inspeção Ativos de Infra da EFVM.....	120
Figura 32 – Interface do Sistema ValeForms em que são apresentados os formulários de inspeção de ativos	121
Figura 33 – Treinamentos dos inspetores no tablet e inspeção sendo realizada através de formulário do Sistema ValeForms em 10 de outubro de 2018	122
Figura 34 – Delimitação do trecho avaliado	128
Figura 35 – Árvores de grande porte com risco de queda sobre a ferrovia e mureta de contenção de sedimentos.....	134
Figura 36 – Erosões superficiais e solo exposto, favorecendo o carreamento de material para cima da plataforma ferroviária, no ativo km 239+000 LT	134
Figura 37 – Vegetação presente ao longo do ativo corte km 240+250 LE	135
Figura 38 – Vegetação e muro de trilho e dormentes no km 241+650 LE	136
Figura 39 – Perímetro urbano de Resplendor e vegetação ao longo do ativo corte km 246+350 LE	137
Figura 40 – Solo exposto e erosões presentes ao longo do ativo corte km 257+900 LD.....	138
Figura 41 – Obras de muro de contenção de sedimentos (muro pulmão) e descida d'água realizadas ao longo do ativo de corte do km 259+250 LD.....	139
Figura 42 – Obras antigas de mureta de contenção em placas de concreto (danificadas) e mureta de dormente.....	140
Figura 43 – Trilhos cravados pela manutenção para posterior construção de muro de contenção de sedimentos em concreto.....	141
Figura 44 – Afloramento de rocha no ativo de corte km 342+730 LT.....	142
Figura 45 – Lixo e entulho depositado ao longo do ativo de corte km 343+700 LT.	143
Figura 46 – Contenção em trilhos e dormentes para retenção de sedimentos	144
Figura 47 – Corte com grandes erosões em sua face antes da obra de retaludamento (1) e após a obra de retaludamento aguardando execução de obras de drenagem e revegetação (2).....	145

Figura 48 – Placa do km 366+000 LT: região que no passado apresentou problema de carreamento de material para cima da plataforma ferroviária	146
Figura 49 – Adequação feita aos indicadores de Faria (2011) para avaliação suscetibilidade dos taludes corte EFVM.....	151
Figura 50 – Matriz AHP para avaliação da suscetibilidade de deslizamento de terra	152
Figura 51 – Estrutura da planilha de entrada de dados para cálculo do IS	153
Figura 52 – Matriz de decisão AHP, autovetor e análise de sensibilidade dos indicadores de suscetibilidade conforme julgamento do Especialista 1	157
Figura 53 – Matriz de decisão AHP, autovetor e análise de sensibilidade conforme avaliação do Especialista 1 para as classes do indicador de suscetibilidade tipo de material do corte.....	158
Figura 54 – Matriz de decisão AHP, autovetor e análise de sensibilidade conforme avaliação do Especialista 1 para as classes do indicador de suscetibilidade inclinação	159
Figura 55 – Matriz de decisão AHP, autovetor e análise de sensibilidade conforme avaliação do Especialista 1 para as classes do indicador de suscetibilidade altura	160
Figura 56 – Matriz de decisão AHP, autovetor e análise de sensibilidade conforme avaliação do Especialista 1 para as classes do indicador de suscetibilidade presença de água	161
Figura 57 – Matriz de decisão AHP, autovetor e análise de sensibilidade conforme avaliação dos Especialistas para as classes do indicador de criticidade afastamento do ativo da via.....	167
Figura 58 – Matriz de decisão AHP, autovetor e análise de sensibilidade dos indicadores de criticidade conforme julgamento do Especialista.....	168
Figura 59 – Matriz de decisão AHP, autovetor e análise de sensibilidade dos indicadores de criticidade conforme julgamento do Especialista 2.....	169
Figura 60 – Matriz de decisão AHP, autovetor e análise de sensibilidade dos indicadores de criticidade conforme julgamento do Especialista 3.....	170

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores de CA em função da ordem da matriz	87
Tabela 2 – Indicadores de perigo e seus respectivos pesos para taludes de corte	88
Tabela 3 – Critérios adotados para a classificação do índice de Perigo (IP).....	89
Tabela 4 – Peso dos fatores condicionantes determinado com aplicação método AHP	90
Tabela 5 – Matriz de comparação, pesos dos fatores condicionantes e razão de consistência	92
Tabela 6 – Correlação entre indicadores de perigo identificados por Faria (2011) com os acompanhados pela EFVM	99
Tabela 7 – Parâmetros para análise da suscetibilidade	100
Tabela 8 – Classificação da suscetibilidade para ativos geotécnicos tipo talude de corte de acordo com especialistas EFVM	102
Tabela 9 – Classificação da criticidade proposta para ativos geotécnicos tipo talude de corte EFVM	106
Tabela 10 – Quantidade de ativos geotécnicos do tipo corte e aterro cadastrado no sistema SAP	110
Tabela 11 – Periodicidade das inspeções na EFVM	123
Tabela 12 – Litologias tipo da EFVM.....	130
Tabela 13 – Localização e extensão dos ativos criticidade a definidos pelo inspetor de infraestrutura da EFVM.....	133
Tabela 14 – Classes de amplitude adaptadas quanto as características da EFVM	149
Tabela 15 – Classes de declividade adaptadas quanto as características da EFVM	149
Tabela 16 – Classes de n.a. adaptadas quanto as características da EFVM.....	150
Tabela 17 – Classes de material adaptadas quanto as características da EFVM...	150
Tabela 18 – Classificação dos taludes de escorregamento com indicadores altura e declividade adaptados EFVM.....	153
Tabela 19 – Criticidade atribuída EFVM x classificação da suscetibilidade encontrada com o método AHP	154
Tabela 20 – Suscetibilidade muito alto devido a presença de feições de instabilidade	155

Tabela 21 – Comparativos dos percentuais relativos a cada indicador de suscetibilidade conforme julgamento dos especialistas EFVM na matriz de decisão AHP.....	161
Tabela 22 – Classificação da suscetibilidade conforme especialistas EFVM.....	163
Tabela 23 – Ativos com classificação de suscetibilidade <i>muito alto</i> , segundo especialistas efvm e comparação com classificação de acordo com indicadores de Faria (2011).....	164
Tabela 24 – Criticidade dos taludes definida pelos inspetores com as respectivas distâncias medidas em campo.	166
Tabela 25 – Comparativos dos percentuais relativos a cada indicador de criticidade conforme julgamento dos especialistas efvm na matriz de decisão AHP	1711
Tabela 26 – Cálculo da criticidade dos taludes com pesos definidos pelos especialistas efvm e aplicação do AHP.....	1722
Tabela 27 – Comparativo entre criticidades existentes e calculadas pelo estudo.	1733
Tabela 28 – Comparativo entre a criticidade atribuída pelo inspetor e a criticidade encontrada pelos especialistas EFVM para ativos criticidade A.....	1744
Tabela 29 – Ativos com classificação de criticidade <i>muito alto</i> , segundo especialistas EFVM e comparação com classificação de suscetibilidade de acordo com indicadores de Faria (2011)	175

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO DO TRABALHO.....	16
1.2	JUSTIFICATIVAS.....	19
1.3	OBJETIVOS DO TRABALHO.....	20
1.4	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	21
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	24
2.1	INTRODUÇÃO.....	24
2.2	GESTÃO DE ATIVOS EM INFRAESTRUTURA FERROVIÁRIA.....	24
2.2.1	Definição de termos em Gestão de Ativos.....	30
2.2.2	Manutenção e sua Função Estratégica.....	32
2.2.3	Ativos de Infraestrutura Ferroviária.....	36
2.2.4	Ativos Geotécnicos.....	38
2.2.5	Inspeção de Ativos Geotécnicos.....	41
2.2.6	Aplicação de programa de GA em ferrovia: caso da <i>Network Rail</i>.....	47
2.3	GESTÃO DE RISCOS EM TALUDES.....	48
2.3.1	Terminologias utilizadas.....	50
2.3.2	Estratégias de Gerenciamento de Riscos Geotécnicos.....	56
2.3.2.1	Identificação e análise de riscos geológicos.....	58
2.3.2.2	Ações para redução de riscos geotécnicos.....	65
2.3.3	Gerenciamento de risco geotécnico em obras lineares.....	68
2.3.4	Movimentos de Massa e Fatores Condicionantes.....	70
2.3.4.1	Classificação dos Movimentos de Massa.....	71
2.3.4.2	Fatores Condicionantes dos Movimentos de Massa.....	73
2.4	MÉTODOS MULTICRITÉRIOS DE APOIO A DECISÃO.....	78
2.4.1	Processo de Análise Hierárquica (AHP).....	80
2.4.2	Julgamentos Paritários.....	81
2.4.3	Análise da Consistência dos Julgamentos.....	86
2.4.4	Estudos anteriores utilizando o AHP na análise e hierarquização dos indicadores de suscetibilidade de deslizamentos.....	87

2.4.4.1	Aplicação do método AHP na análise de risco da cidade de São Sebastião, SP (2011).....	87
2.4.4.2	Mapeamento de suscetibilidade a deslizamento no Rio Grande do Sul, RS (2012).....	90
2.4.4.3	Mapeamento de suscetibilidade a deslizamento no Rido Grande do Sul, RS (2017).....	91
2.4.5	Análise sobre o uso do AHP na avaliação suscetibilidade de taludes.....	93
2.5	CONSIDERAÇÕES GERAIS CAPÍTULO 2	94
3	MÉTODOS E ETAPAS DA PESQUISA.....	96
3.1	ADAPTAÇÃO DOS INDICADORES DE SUSCETIBILIDADE DE DESLIZAMENTO DE TERRA CONFORME FICHAS DE CADASTRO E INSPEÇÃO DA EFVM.....	98
3.2	SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTO DE TERRA COM BASE NA EXPERIÊNCIA DE ESPECIALISTAS EFVM.....	100
3.3.	CORRELAÇÃO ESTABELECIDADA ENTRE CLASSIFICAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE E CRITICIDADE DE ATIVOS.....	102
3.3.1	Estruturação da planilha Excel para cálculo do índice de criticidade (IC).....	105
3.3.2	Classificação da criticidade dos ativos.....	105
4	A GESTÃO DE ATIVOS GEOTÉCNICOS NA EFVM.....	107
4.1	APRESENTAÇÃO DA EFVM.....	107
4.2	ATIVOS DE INFRAESTRUTURA DA EFVM.....	109
4.3	CRITICIDADE DE ATIVOS NA EFVM.....	111
4.4	INSPEÇÃO DE INFRAESTRUTURA EM ATIVOS GEOTÉCNICOS NA EFVM.....	112
4.4.1	Inspeção Cadastral na EFVM.....	114
4.4.2	Inspeção Visual Sensitiva na EFVM.....	116
4.4.3	Inspeção Detalhada na EFVM.....	117
4.5	ESTRATÉGIA DE MANUTENÇÃO EM TALUDES.....	123
4.6	GESTÃO DE RISCOS NA INFRAESTRUTURA DA EFVM.....	125
4.7	CONSIDERAÇÕES GERAIS CAPÍTULO 4.....	127

5	REGIÃO DE ESTUDO: TRECHO DA EFVM, SUDESTE DO BRASIL.....	128
5.1	CONTEXTUALIZAÇÃO GEOLÓGICA DA EFVM.....	129
5.1.1	Litologia.....	129
5.1.2	Pedologia.....	131
5.2	CARACTERIZAÇÃO GERAL DOS ATIVOS GEOTÉCNICOS DE CORTE DEFINIDOS COMO CRITICIDADE A.....	132
5.2.1	Ativo do km 239+000LE.....	133
5.2.2	Ativo do km 240+250LE.....	135
5.2.3	Ativo do km 241+430LE.....	136
5.2.4	Ativo do km 246+350LE.....	137
5.2.5	Ativo do km 257+900LD.....	137
5.2.6	Ativo do km 259+250LE.....	138
5.2.7	Ativo do km 303+300LE	139
5.2.8	Ativo do km 333+620LD.....	140
5.2.9	Ativo do km 342+730LD.....	141
5.2.10	Ativo do km 343+700LD.....	142
5.2.11	Ativo do km 360+300LD.....	143
5.2.12	Ativo do km 361+710LE.....	144
5.2.13	Ativo do km 363+270LD.....	145
5.3	CONSIDERAÇÕES GERAIS CAPÍTULO 5.....	146
6	RESULTADOS.....	148
6.1	ETAPA 1: CLASSIFICAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS CONFORME ESTUDO DE FARIA (2011).....	148
6.1.1	Adaptação das classes dos indicadores de suscetibilidade.....	148
6.1.2	Aplicação do Método AHP para avaliação da suscetibilidade.....	151
6.1.3	Classificação da suscetibilidade nos 167 ativos geotécnicos de corte da EFVM.....	152

6.2	ETAPA 2: CLASSIFICAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS CONFORME ESPECIALISTAS EFVM.....	155
6.2.1	Aplicação do Método AHP para avaliação da suscetibilidade.....	156
6.2.2	Classificação da suscetibilidade nos 167 ativos geotécnicos de corte da EFVM.....	162
6.3	ETAPA 3: CLASSIFICAÇÃO DA CRITICIDADE DOS ATIVOS GEOTÉCNICOS A PARTIR DA AVALIAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE DE DESLIZAMENTO.....	165
6.3.1	Trabalho em campo: medidas das distâncias.....	165
6.3.2	Aplicação do método AHP ao indicador de criticidade Afastamento do Ativo da Via.....	166
6.3.3	Aplicação do Método AHP para avaliação da criticidade dos ativos geotécnicos.....	167
6.3.4	Classificação da criticidade dos 167 ativos geotécnicos de corte da EFVM.....	171
6.4	CONSIDERAÇÕES GERAIS CAPÍTULO 6.....	176
7	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	178
	REFERÊNCIAS.....	183
	ANEXO A – Litologia trecho 2 e trecho 3.....	196
	ANEXO B – Pedologia trecho 2 e trecho 3.....	198
	APÊNDICE A – Tabelas com a entrada de dados conforme pesos e indicadores utilizados por Faria (2011), bem como cálculo do índice e grau de suscetibilidade.....	200
	APÊNDICE B – Aplicação do método AHP referentes aos indicadores: Material do corte, Inclinação, Altura e Presença de Água, com os respectivos julgamentos dos especialistas 2 e 3 da EFVM.....	223
	APÊNDICE C – Classificações da suscetibilidade a deslizamento de solo/rocha dos taludes de corte em relação aos critérios	

definidos pelos especialistas EFVM comparados aos indicadores definidos por Faria (2011).....	228
APÊNDICE D – Classificações da criticidade dos ativos tipo taludes de corte da EFVM em relação aos critérios definidos pelos Especialistas EFVM e também comparado com a classificação de suscetibilidade encontrada segundo os critérios definidos por Faria (2011).....	235

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TRABALHO

As ferrovias são caracterizadas por atravessarem trechos com diferentes feições geomorfológicas, geológicas, pedológicas e geotécnicas, incluindo diversos tipos de vegetação e núcleos urbanos. Consequentemente, inúmeros problemas de origem geológico-geotécnica podem afetá-las de várias formas, devido principalmente às suas características de linearidade e grande extensão. Esses problemas comumente geram instabilidades nos taludes de corte e aterro ao longo da via, podendo atingir inclusive a plataforma ferroviária (CORTELETTI, 2014).

A redução das ameaças impostas por deslizamentos de taludes à população e à infraestrutura tem se consolidado como um tópico amplamente debatido e com grande repercussão. Quando se trata de infraestrutura ferroviária observa-se, muitas vezes, que a atuação é de forma reativa: ocorrem deslizamentos e então se parte para investigações geotécnicas e retro análises para determinar as soluções mais adequadas. Com isto, o tráfego de trens sofre com interrupções e os custos de operação disparam frente às constantes tormentas (ALVES, 2012). De acordo com Fell et al. (2005), lidar com deslizamentos de taludes naturais, cortes e aterros, sempre envolveram, de alguma forma, a avaliação e gerenciamento de risco. Contudo, essa atividade sempre envolve algum fator de subjetividade, pois usualmente é feita com base no julgamento e experiência da equipe técnica envolvida, sem um critério padrão de uniformidade avaliativa.

A ferrovia centenária Estrada de Ferro Vitória a Minas (EFVM) possui 905 km de extensão, cruzando os Estados de Minas Gerais e Espírito Santo, e é suportada por mais de 3.600 ativos geotécnicos, incluindo taludes de cortes, aterros e encostas naturais. Ocorrências como falhas ou acidentes nos ativos geotécnicos geram impactos na segurança e operação da via, trazendo perdas econômicas significativas. Portanto, manter a integridade e confiabilidade desses ativos através de um completo sistema de gestão é primordial para o bom funcionamento da ferrovia.

A Gestão de Ativos (GA) é um conjunto de atividades sistemáticas e coordenadas de uma empresa, necessárias para gerir de forma eficaz os ativos considerados valiosos para a companhia, e é suportada pela gestão de riscos e pela gestão da manutenção. Dentro do contexto de GA, um conceito chave é o de criticidade, que está relacionado à importância do ativo e ao nível de risco ao qual ele pode estar exposto, ou seja, é necessário que a criticidade de cada ativo seja definida para dar diferentes níveis de importância aos ativos, do mais crítico ao menos crítico, servindo assim como um direcionador de atenção e esforços para o acompanhamento mais de perto dos considerados mais importantes. Na EFVM a classificação de ativos por criticidade busca maior eficácia na aplicação dos recursos da companhia, e é a partir da criticidade definida que se consegue estabelecer a periodicidade de inspeções, a estratégia de manutenção e a estratégia de gerenciamento de riscos dos ativos.

Ativos geotécnicos são estruturas complexas e nossa compreensão de suas vidas de serviços é incompleta. Meios para estimar e monitorar a condição desses ativos ao longo do tempo são necessários para um programa de gerenciamento de ativos em pleno funcionamento (STANLEY; PIERSON, 2013). As inspeções de ativos geotécnico em campo atuam como ferramenta para observar e registrar as características relacionadas à condição do ativo, identificando problemas e auxiliando no direcionamento dos recursos necessários a garantir sua integridade estrutural e operacional. Nos dias atuais, na EFVM, essa é a principal atividade detectora de defeitos na infraestrutura da via, sendo a peça chave inicial para o programa de GA local. Ou seja, através das inspeções à campo são feitas as avaliações das condições do solo, vegetação, sistemas de drenagem, alterações feitas por terceiros na faixa de domínio da ferrovia, entre outros parâmetros que foram definidos para monitoramento e avaliação.

Segundo Zuquette (1993), suscetibilidade a deslizamentos é a possibilidade de que um escorregamento de terra ocorra em uma área, com base nas condições do terreno local. Dada esta constatação, nesta pesquisa são avaliados qualitativamente os 167 ativos geotécnicos de corte localizados entre os quilômetros 231 ao 383 da linha tronco da EFVM a partir dos dados constantes nas fichas de cadastro e inspeção desses ativos, com o objetivo inicial de se avaliar a suscetibilidade de deslizamentos

nesses locais. Os indicadores de avaliação da suscetibilidade foram definidos conforme trabalhos anteriores de mapeamento (FARIA, 2011; VÂNACOR; ROLIM, 2012; BRITO et al., 2017) de suscetibilidade de deslizamentos em encostas urbanas, e modificados para a realidade de uma obra com caráter linear de acordo com a experiência dos especialistas em infraestrutura ferroviária da EFVM.

As inspeções em campo têm periodicidade programada de acordo com a criticidade definida para cada ativo, sendo que os ativos considerados mais críticos possuem uma maior frequência de inspeção, pois são considerados mais importantes e/ou valiosos para a companhia. No entanto, sabe-se que as criticidades hoje definidas para os ativos geotécnicos da EFVM são baseadas na experiência do inspetor local (que é a pessoa designada a inspecionar os ativos da via), não havendo métodos e parâmetros definidos e padronizados para a mesma. Devido a isso, esta pesquisa teve como objetivo principal a padronização dos critérios para definição da criticidade dos ativos geotécnicos de corte do trecho estudado, adicionando o parâmetro *afastamento do ativo da via* à avaliação da suscetibilidade a deslizamento de terra, a partir de pesos e critérios definidos pelos especialistas em infraestrutura da EFVM. Com estes indicadores estipulados e pesos definidos conseguiu-se reduzir a subjetividade hoje estabelecida na definição da criticidade dos ativos geotécnicos tipo talude de corte da ferrovia.

É necessário pontuar que as análises qualitativas, usadas corriqueiramente para a avaliação da suscetibilidade, representam um momento do contexto (o momento da análise), que podem tornar-se rapidamente defasada em função das atividades de operação e/ou manutenção, ou da ação climática, sendo muitas vezes necessárias novas inspeções para verificação da condição mais atual do ativo. Para determinar o peso dos fatores, hierarquizando os mesmos, e também diminuir a subjetividade da análise qualitativa, foi incorporada a técnica Processo de **Análise Hierárquica** (Analytic Hierarchy Process - AHP) na avaliação da contribuição relativa de cada um dos indicadores de suscetibilidade e criticidade escolhidos. O AHP é um modelo de ponderação que auxilia na tomada de decisão em problemas que envolvem a valoração e a hierarquização de fatores através da avaliação de um conjunto de critérios explicitados por pesos relativos, dentro de regras matemáticas pré-

estabelecidas. A partir do momento que a hierarquia lógica está construída, os tomadores de decisão avaliam sistematicamente as alternativas por comparação paritária em cada um dos critérios. A atribuição de pesos para cada critério exige um conhecimento preciso do problema que, normalmente, só é possível para um especialista.

Além disso, este trabalho se propôs também a descrever e comentar a evolução das atividades e ações tomadas pela EFVM frente a gestão de ativos de infraestrutura. Nesse contexto são apresentadas as estratégias adotadas para a gestão de risco de deslizamento de terra, bem como todo o processo de manutenção dos ativos geotécnicos, passando pela inspeção, classificação por criticidade e definição da estratégia de manutenção.

1.2 JUSTIFICATIVAS

Na EFVM muitas medidas do processo de gestão de ativos geotécnicos já estão implementadas e atuam efetivamente, mas melhorias e ajustes sempre são bem-vindos. Foi diagnosticado que há um hiato (melhoria a ser feita) no que se refere a definição da criticidade dos ativos geotécnicos da via, pois constatou-se que cada inspetor faz a classificação da criticidade com base na sua experiência prévia, sendo necessário definir indicadores e parâmetros para aplicação ao longo de toda a ferrovia.

Face a isso, foi necessário desenvolver este estudo na EFVM com o objetivo de priorização dos ativos geotécnicos da via a partir da padronização dos critérios para definição da criticidade dos mesmos. A partir da seleção dos indicadores e dos parâmetros de avaliação da suscetibilidade de deslizamento, mais o indicador da medida em metros do *afastamento do ativo da via*, conseguiu-se identificar entre os 167 taludes de corte da EFVM quais são os mais críticos e susceptíveis a deslizamentos de terra no trecho compreendido entre km 231 ao km 383 da linha tronco. Com esses dados em mãos, após a avaliação dos mesmos pela equipe de especialistas técnicos da EFVM, foi possível validar que, para o trecho estudado, os ativos classificados como mais críticos pelos indicadores propostos são de fato os

ativos mais críticos do referido trecho, ficando estabelecida a correlação entre suscetibilidade de deslizamento de terra e criticidade de ativos geotécnicos. Sendo assim, após identificar e validar os ativos mais críticos, será necessário adequar a base de dados desses ativos às estratégias definidas para a periodicidade de inspeções e serviços de manutenção, garantindo um gerenciamento de ativos geotécnicos mais eficaz na EFVM.

Diante do exposto, entendeu-se que a implementação de medidas de gestão de ativos geotécnicos com o propósito de classificação da criticidade a partir de critérios padronizados reduz a incerteza e subjetividade das estratégias de manutenção e gerenciamento de riscos hoje presentes na EFVM. De acordo com Ribeiro (2011), menores serão os danos quanto maior for a eficácia de empresas na precaução de emergências. Isso envolve a execução de procedimentos bem definidos, previamente planejados, estabelecidos, documentados e difundidos dentro da organização.

1.3 OBJETIVOS DO TRABALHO

Este trabalho tem como objetivo geral contribuir para a padronização dos critérios para a classificação da criticidade dos 167 ativos geotécnicos tipo corte, do trecho compreendido do km 231 ao km 383 da EFVM com o uso do Processo de Análise Hierárquica (AHP). A partir da avaliação da suscetibilidade de deslizamentos de terra, adicionando-se o indicador afastamento do ativo de corte da via férrea foi possível classificar e comparar a criticidade dos ativos geotécnicos.

Nesta pesquisa são utilizadas técnicas de análises qualitativas, por meio da avaliação de indicadores pré-definidos constantes nas fichas de cadastro e inspeção da equipe de manutenção da ferrovia. Os indicadores para avaliação e classificação da suscetibilidade foram hierarquizados e comparados um a um por meio do método multicritério AHP, tomando-se como base os indicadores de suscetibilidade de deslizamento de terra utilizados em publicações prévias sobre o tema (FARIA, 2011; VÂNACOR; ROLIM, 2012; BRITO et al., 2017).

A avaliação da suscetibilidade de deslizamentos de terra e a definição de critérios para a determinação da criticidade dos ativos geotécnicos tipo talude de corte da EFVM, teve o intuito global de fornecer à ferrovia e ao seu corpo técnico um direcionamento e melhor compreensão dos locais onde se devem priorizar a inspeção, aplicar recursos financeiros e demandar equipes de manutenção para tratamento das anomalias identificadas, garantindo assim uma rede ferroviária mais resiliente e segura.

Como objetivos específicos desta dissertação, tem-se:

- Apresentar e discutir a evolução e medidas atuais adotadas pela EFVM frente a gestão de ativos geotécnicos, fortalecendo o conhecimento dos procedimentos realizados ao longo do ciclo de vida dos ativos da infraestrutura ferroviária;
- Avaliar, conforme indicadores e métodos estudados por Faria (2011), a suscetibilidade de deslizamentos de terra para o trecho estudado, e também com indicadores de suscetibilidade modificados pelos especialistas EFVM;
- Propor uma planilha de análise da criticidade a ser incorporada na sistematização da definição da criticidade dos ativos geotécnicos tipo talude de corte, por meio da atribuição de pesos relativos e hierarquização através do método AHP, à indicadores de criticidade pré-estabelecidos.

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação está organizada em sete capítulos, sendo o primeiro o de introdução, onde é feita uma contextualização do tema da dissertação, bem como as justificativas e os objetivos definidos.

O capítulo 2 refere-se ao atual estado da arte relativo à Gestão de Ativos (GA) voltado para a Infraestrutura Ferroviária (IF), em que foram definidos os conceitos gerais e termos que suportam a GA, com a conceituação dos diferentes tipos de manutenção e sua função estratégica dentro da organização, a caracterização dos ativos da IF, a definição e abordagens de GA geotécnicos, detalhando os procedimentos e

metodologias referentes ao processo de inspeção nesses ativos. Por fim, é apresentado um exemplo de GA aplicado à ferrovia.

Apesar da Gestão de Riscos ser parte integrante da GA, viu-se a necessidade de separar os tópicos devido à complexidade e diversidade de temas abordados dentro da Gestão de Riscos de Taludes. Nesse contexto, o capítulo 2 ainda comenta as melhores práticas referente a minimização de risco de deslizamentos de terra, abordando as terminologias utilizadas, as estratégias para o gerenciamento de riscos geotécnicos, passando pelo processo de identificação, análise e ações para a redução do risco. Também são apresentadas algumas estratégias de gerenciamento de riscos geotécnicos em projetos lineares. E, por fim, são apresentados os tipos e fatores condicionantes dos deslizamentos de terra, uma vez que nesse trabalho analisa-se a suscetibilidade de ocorrência dos mesmos ao longo da ferrovia.

Finalizando o capítulo 2 são apresentados os conceitos para se desenvolver e aplicar o Processo de Análise Hierárquico (AHP), bem como a apresentação de três casos referentes a aplicação do método AHP na avaliação da suscetibilidade a deslizamento de terras.

No capítulo 3 apresenta-se a metodologia utilizada nas três frentes estudadas nesta dissertação. A primeira refere-se à classificação da suscetibilidade dos ativos de corte da EFVM através dos critérios estabelecidos por Faria (2011), mas com as classes dos indicadores adequados ao contexto da ferrovia. A segunda análise contempla à avaliação da suscetibilidade de deslizamento após a seleção de 4 indicadores escolhidos e ponderados no AHP pelos especialistas em infraestrutura da EFVM. A terceira análise refere-se à uma proposta de parâmetros e indicadores para a classificação da criticidade dos ativos geotécnicos através do cruzamento da avaliação da suscetibilidade de deslizamento de terra, como apresentada na segunda análise, com o acréscimo do indicador afastamento do ativo da via, com os pesos definidos novamente pelos especialistas EFVM.

O capítulo 4 apresenta a prática atual da EFVM frente a gestão dos seus Ativos Geotécnicos, em que são apresentados e comentados todos os processos referentes a gestão dos ativos geotécnicos praticados pela ferrovia.

O capítulo 5 refere-se à delimitação do trecho que foi estudado na EFVM, sendo apresentado a contextualização geológica do mesmo através da caracterização da litologia e pedologia. Também são apresentados os ativos geotécnicos definidos atualmente como criticidade A para o trecho avaliado.

No capítulo 6 são apresentados os resultados encontrados para os 167 taludes de corte estudados nas duas análises de avaliação da suscetibilidade de deslizamento de terra, bem como as modificações realizadas nos indicadores estudados pelos especialistas em infraestrutura da ferrovia. Neste capítulo também se descreve os resultados da classificação da criticidade dos ativos geotécnicos tipo talude de corte, com a aplicação do método AHP nos indicadores selecionados pelos especialistas em infraestrutura da EFVM, além da comparação destes com a do inspetor do trecho.

O capítulo 7 apresenta as conclusões sobre o trabalho desenvolvido e sugeridos trabalhos futuros que se debrucem sobre o mesmo tema. E, por fim, são apresentadas as Referências Bibliográficas utilizadas na elaboração da dissertação, os Anexos, e os Apêndices.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo aborda o referencial teórico essencial para o entendimento e elaboração desta pesquisa, no que diz respeito a Gestão de Ativos, Gestão de Risco em Taludes e sobre o uso do método AHP.

2.2 GESTÃO DE ATIVOS EM INFRAESTRUTURA FERROVIÁRIA

Neste item são analisados os princípios e o estado da arte que dizem respeito a Gestão de Ativos, com o enfoque em infraestrutura e também são definidos os conceitos de manutenção e de sua importância estratégica dentro das organizações que desejam gerir seus ativos otimamente. Seguidamente são definidos os ativos de infraestrutura ferroviária no geral, procedendo-se à apresentação de ativos geotécnicos e dos tipos de inspeção, e como esta atua auxiliando à uma gestão de ativos mais eficaz.

No final da década de 90, a desconfiança e o ceticismo crescente face ao modo como a administração pública é gerida, têm levado a uma vontade generalizada para que esta adote um modelo e práticas de gestão similares às utilizadas pelo setor privado (LENFERINK et al., 2013). Esta mudança obriga a que o processo de tomada de decisão seja totalmente revisto, passando a estar mais focado na vertente econômica, tendo por base o valor e importância dos ativos no sistema e analisando as despesas com o mesmo ao longo do seu ciclo de vida. A utilização das teorias e sistemas da Gestão de Ativos (GA) por parte do setor privado conta com uma larga experiência, sendo especialmente utilizadas em setores cuja laboração está dependente da disponibilidade de equipamento e maquinaria, como o sector mineiro, petrolífero, da extração de madeira, entre outros (DORNAN, 2002).

O *Institute of Asset Management* – IAM (Instituto de Gestão de Ativos), foi criado em 1993 por um grupo representativo de empresas de diferentes ramos industriais do Reino Unido, Nova Zelândia e Austrália, se consolidando no mercado como um

provedor de conhecimentos em GA. Em 2003 o *British Standard Institute* (BSI) formou o primeiro comitê para a elaboração do *Public Available Specification* (PAS), documento público padrão sobre GA. Até o momento não existia um documento formal sobre o assunto, então o BSI publicou em conjunto com o IAM a PAS 55:2004 - Especificações para Gestão Otimizada de Ativos Físicos. Em 2010, mais de 30 países membros do Comitê Técnico TC 251 aprovaram a criação da norma ISO 55000 – *Asset Management* (Gestão de Ativos) a partir do PAS 55:2008, e em 2014 a Associação Brasileira de Normas Técnicas publicou a tradução da série ABNT NBR ISO 55000, 55001 e 55002 que fornece uma visão geral de GA, seus princípios e terminologia, os benefícios esperados com a adoção da GA, bem como os requisitos e diretrizes para aplicação de um sistema de GA dentro do contexto da organização.

Como definido na ABNT NRB ISO 55000:2014, o ativo é um item, coisa ou entidade que tem valor potencial ou real para uma organização. Este valor pode ser tangível ou intangível, financeiro ou não financeiro, e inclui a consideração de riscos e passivos. Sobre a GA, a norma define que é a atividade coordenada de uma organização para obter valor a partir dos ativos, o que envolve um equilíbrio entre custos, riscos e desempenho. Uma organização pode optar por gerenciar seus ativos como um grupo, em vez de individualmente, de acordo com suas necessidades e obter benefícios adicionais. Tais agrupamentos de ativos podem ser por tipos de ativos, sistemas de ativos ou carteiras de ativos.

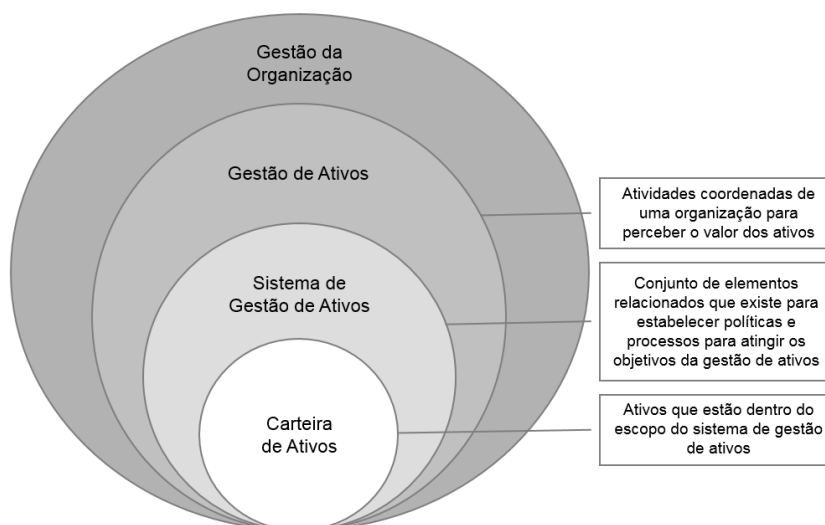
De acordo com OECD (2001) em Sumário Executivo produzido para o setor rodoviário, toda GA está alicerçada em três pontos fundamentais: (a) reconhecimento do valor econômico dos ativos, (b) eficiência econômica e otimização das despesas ao longo do ciclo de vida dos ativos e, (c) o perfeito entendimento do papel da organização como vigilante e gestor dos ativos.

No que tange à gestão de infraestrutura, a GA é utilizada na gestão de infraestruturas rodoviárias, ferroviárias, sistemas de abastecimento de águas, eletricidade ou gás, entre outros. Dentro da infraestrutura de transporte, esta é mais preponderante no setor rodoviário, sendo amplamente utilizada nos Estados Unidos da América, Canadá e Reino Unido (OECD, 2001). No setor ferroviário esta abordagem é utilizada pela

maioria dos gestores ferroviários no Continente Europeu, mas com níveis de maturidade diferentes entre eles (DANTAS, 2014).

Network Rail (2014) comenta que a GA é um conjunto de atividades sistemáticas e coordenadas de uma organização que gere otimamente os seus ativos e respectivo desempenho, riscos e expedientes associados ao longo de sua vida útil de acordo com o plano estratégico da organização. ICA (2015) enfoca que o sistema de gerenciamento de ativos é usado por uma organização para direcionar, coordenar e controlar as atividades de gerenciamento de ativos. Este sistema visa fornecer um controle de risco aprimorado e garantir que os objetivos de gerenciamento de ativos serão alcançados de forma consistente. A relação entre os principais termos de gerenciamento de ativos é mostrada na figura 1.

Figura 1 – Relação entre os principais termos na Gestão de Ativos



Fonte: Modificado de ISO 55000:2014 (2014).

A *United States Federal Highway Administration* (Administração Federal de Rodovias do Estados Unidos) junto com a *American Association of State Highway and Transportation Officials* (Associação Oficial do Estado Americano de Transportes Rodoviários) – FHWA e AASHTO – listaram em seu sumário executivo, publicado em 2011 e revisado em 2013, que através da aplicação de um Programa de Gestão de Ativos de Infraestrutura é possível obter vários benefícios. Apesar de seu nome, a

AASHTO não representa apenas o transporte rodoviário como também o ferroviário, aéreo, aquático e público. Os benefícios listados por esses órgãos são:

- Redução de custos;
- Otimização dos gastos em operações de manutenção e substituição de ativos;
- Ganhos de eficiência ao nível do desempenho;
- Visão global do sistema;
- Visão a longo prazo;
- Incentivo à inovação;
- Melhor conhecimento dos ativos através de informação mais acertada e atualizada;
- Uniformização da definição dos ativos na vertente técnica e financeira;
- Criação de uma linha de alerta entre a estratégia e a implementação.

Entretanto, ainda de acordo com FHWA e AASHTO (2013) existem desvantagens inerentes ao processo de GA, sendo enumeradas as seguintes:

- Integração dos sistemas de gestão individuais dos ativos existentes;
- Dificuldade em obter um inventário correto e atualizado de todos os ativos do sistema;
- Complexidade da análise.

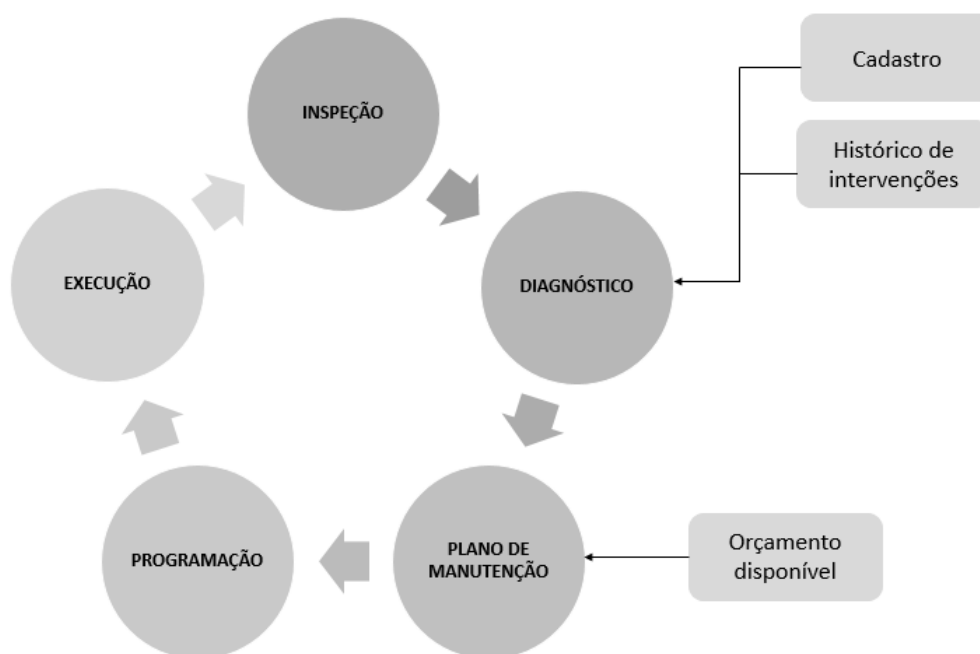
A GA baseia-se sobre seis elementos: informação sobre os ativos, objetivos do gestor para a infraestrutura, nível de desempenho da infraestrutura, análise de custo por ciclo de vida, gestão de risco e planejamento financeiro (FHWA; AASHTO, 2013). O âmbito de uma GA deve estender-se a todos os ativos pelos quais o gestor é responsável, englobando também todas as políticas internas e programas de manutenção e renovação dos mesmos.

De acordo com Baldeiras (2008, apud SILVA, 2012), as iniciativas de formulação de sistemas de gestão no meio ferroviário perduram há alguns anos, mas estas proposições em nada são comparáveis aos sistemas disponíveis na área rodoviária. Estes sistemas de gestão visam, tal como nos sistemas rodoviários, manter as vias em condições de operacionalidade e segurança com os menores custos possíveis ao

longo da sua vida útil, sendo que ações para atender a esses objetivos são necessárias, sendo elas listadas a seguir e seu processo ilustrado na figura 2.

- Inspecionar;
- Diagnosticar o estado da via, levando em conta o histórico da mesma;
- Definir objetivamente a natureza e a urgência dos trabalhos;
- Disponibilizar verbas;
- Preparar programas de trabalho eficazes e compatíveis com os meios disponíveis e burocracias operacionais;
- Preparar, supervisionar e controlar a execução dos trabalhos.

Figura 2 – Processo de Gestão de Ativos em Infraestrutura Ferroviária



Fonte: Adaptado de Baldeiras (2008), apud Silva (2014).

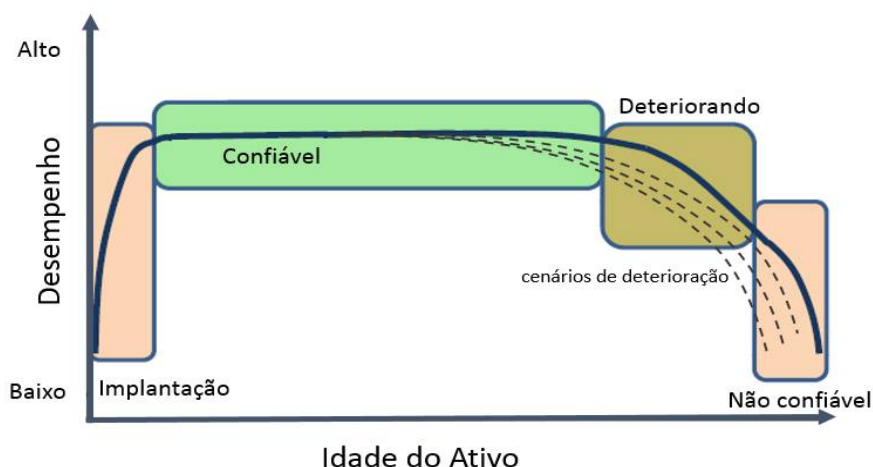
A FHWA e AASHTO (2013) abordam ainda que a gestão de riscos é uma parte importante da GA. No entanto, existem poucas ferramentas práticas ainda disponíveis no mercado, com muitos profissionais gerenciando esse aspecto com o auxílio de planilhas ou bases de dados. Comenta ainda que em transportes, risco é a ameaça às operações da circulação da via, causadas por eventos extremos ou falha de ativo decorrente de qualquer causa. Cita que alguns exemplos de causas de falhas de

ativos são más condições dos mesmos, cargas excessivas e/ou inesperadas, ou ainda práticas de trabalho insatisfatórias.

Segundo Dantas (2014), como a GA é uma teoria de gestão com base econômica, que visa à otimização de recursos, é importante definir o nível de risco que se considera admissível incorporar para cada ativo com base no custo da sua prevenção e nos benefícios daí decorrentes. Risco esse, que será importante para definir quais as ações de manutenção são prioritárias, e definir quais os ativos cuja renovação e melhoramentos deve ser dada prioridade.

A figura 3 ilustra o desempenho do ativo em relação à sua idade e resume o desafio para gestores ativos de infraestrutura (THURLBY, 2013). Esse desafio pode variar de acordo com a Estratégia de GA que se quer adotar. Pode-se ser capaz de identificar com segurança quais ativos são menos confiáveis ou que estão se deteriorando mais rapidamente, a fim de direcionar os recursos de maneira mais assertiva no reparo, ou ir além e também entender como intervenções menores podem reduzir a deterioração e manter a confiabilidade por mais tempo (GLENDINNING et al., 2015).

Figura 3 – Modelo de desempenho de ativos



Fonte: Adaptado de Thurlby (2013).

A implementação de um Sistema de Gestão de Ativos não é um processo imediato, é trabalhoso, e precisa de ser desenvolvido ao longo do tempo, sendo necessário

planejamento e acompanhamento. Outra questão é que esse processo é cíclico, nunca termina, portanto se faz necessário o acompanhamento da sua evolução e a realização de melhorias como a atualização dos dados sobre os ativos e a revisão nos processos de manutenção da infraestrutura. Ao mesmo tempo, é importante também definir a política a seguir no que toca à manutenção e programas de investimento, estabelecendo a sua calendarização e os recursos a alocar aos diferentes projetos. Uma vez implantado o sistema ou as alterações ao mesmo, é necessário acompanhar a gestão e operação da infraestrutura, e, em função destes, identificar os ajustamentos e otimizações a realizar, repetindo o ciclo. Uma outra forma aconselhada de analisar a execução e eficiência da gestão de ativos é o de se realizarem auditorias externas ou internas, baseadas no risco e focadas em áreas onde se verifiquem falhas na gestão de ativos (DANTAS, 2014).

2.2.1 Definição de termos em Gestão de Ativos

Diante do exposto, faz-se necessário a definição de alguns termos usuais em gestão de ativos e confiabilidade, como os conceitos de falhas, defeitos, condição e criticidade, entre outros. A ABNT NBR 5462:1994 – Confiabilidade e Manutenibilidade define os conceitos de falha e defeitos, apresentados a seguir.

Falha: de acordo com a norma, falha é “[...] término da capacidade de um item desempenhar a função requerida”. Se referem a qualquer problema que afete a eficiência da operação da via, gerando perda de recursos como tempo e dinheiro, e contribuindo para possíveis danos à reputação da empresa (VIEIRA, 2018, [s.p.]).

Defeito: com relação a defeito, a norma esclarece que é “*qualquer desvio de uma característica de um item em relação aos seus requisitos*”. Vieira (2018) pontua que defeitos não impedem o funcionamento do ativo instantaneamente, mas a curto ou longo prazo, caso não tratado, levam a problemas que podem acarretar a indisponibilidade do mesmo.

Condição: refere-se à integridade estrutural de um ativo. A condição pode ser medida visualmente ou com instrumentos e, com o tempo, a condição quase sempre se

deteriorará sem a devida intervenção. As informações de condição devem ser padronizadas e uniformes para todos os ativos (FHWA; AASHTO, 2013).

Criticidade: a criticidade do ativo é um conceito chave, relacionado à importância do ativo e ao nível de risco ao qual ele pode estar exposto. A criticidade deve ser um direcionador dos esforços para o monitoramento do ativo (FHWA; AASHTO, 2013). Dorigo e Nascif (2010) comentam que a organização deve se empenhar para estabelecer 3 níveis de criticidade, sendo os mais utilizados definidos em criticidade A B ou C, e estes servirão de base para a escolha das técnicas/serviços mais adequados de manutenção que deverão ser aplicadas a eles, assim como a frequência de sua aplicação.

Prioridade: a prioridade está relacionada a sequência de atendimento dos serviços necessários aos ativos, diferenciando o serviço mais prioritário do menos prioritário. A criticidade entra como critério de desempate em serviços de mesma prioridade, sendo que ativos mais críticos terão seu atendimento priorizados frente aos ativos menos críticos (DORIGO; NASCIF, 2010).

Inventário: o inventário de ativos de transporte fornece uma infraestrutura de dados para unir os vários conjuntos de dados necessários para um processo abrangente e maduro de gerenciamento de ativos. As informações necessárias para o gerenciamento de ativos vão desde a localização geográfica, estado, município, propriedade, responsabilidade de manutenção, geometria da pista, histórico de construção e intervenções, configurando-se como um arquivo de documentos valiosos (FHWA; AASHTO, 2013).

Apresentado os conceitos referentes a Gestão de Ativos em Infraestrutura e definição de termos gerais, é preciso abordar os conceitos da Manutenção e sua função estratégica dentro da Organização.

2.2.2 Manutenção e sua Função Estratégica

De acordo com a ABNT/NBR 5462 (1994) a manutenção consiste na combinação de todas as ações necessárias para manter, ou restabelecer, um item ao estado no qual possa desempenhar uma função requerida, podendo incluir uma modificação nesse item. Já a norma europeia EN 13306:2007 – *Maintenance Terminology* (Terminologia da Manutenção) diz que a manutenção pode ser definida por “[...] ações técnicas, administrativas e de gestão que visam manter ou repor o estado inicial, para desempenhar as funções pretendidas durante o tempo de vida do bem” (EM, 2007, [s.p.]).

Para Kardec e Nascif (2012), a missão da manutenção é garantir a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações de modo a atender a um processo de produção ou de serviço, com confiabilidade, segurança, preservação do meio ambiente e custos adequados. Esses autores também comentam que a manutenção deve ser encarada como uma função estratégica na obtenção de resultados da organização e deve estar direcionada ao suporte das atividades de gestão e de solução de problemas, lançando a empresa a patamares competitivos de qualidade e produtividade.

Atualmente a manutenção está presente no dia a dia das organizações, sendo de suma importância para garantir o desempenho funcional do item, atribuindo dessa forma, confiabilidade ao processo produtivo (SOUZA et al., 2011). Conforme definido na ABNT/NBR 5462 (1994), as tarefas de manutenções podem ser distinguidas, em razão de suas naturezas e finalidades específicas, em macro atividades, conforme a seguir:

- Manutenção preditiva, em que o momento de reparo é definido baseando-se em critérios de controle de desgaste do componente, sendo-se de possível aplicação, a solução técnica e economicamente de melhor resultado, pois possibilita a melhor utilização do componente e o reparo antes da ocorrência da falha. Branco Filho (2000) e Viana (2002) definem manutenção preditiva como o conjunto de tarefas da manutenção preventiva, cujo objetivo é a previsão de falhas através do monitoramento.

- Manutenção preventiva, também chamada de cíclica programada, consiste em efetuar o reparo ou a substituição do componente de forma planejada, sem utilizar-se de fatores de controle para o desgaste, ou seja, busca prevenir a falha substituindo o componente a cada intervalo de tempo determinado. Kardec e Nascif (2012) a definem como a atuação realizada de forma a reduzir ou evitar a falha ou queda do desempenho, obedecendo a um plano previamente elaborado, baseado em intervalos definidos de tempo.
- Manutenção Corretiva ou Reativa destina-se a corrigir falhas que já tenham ocorrido, objetivando recolocar o ativo em condições de executar a função requerida. Silva (2006), aborda que a manutenção corretiva ocorre de forma salteada e não planejada, e prejudica a produção e confiabilidade da operação. Rodrigues (2001) complementa que não há como evitar este tipo de manutenção por completo, pois sempre ocorrerão avarias que a exigirão.

Segundo Freitas Filho (2014) o objetivo global da manutenção é garantir que os ativos permaneçam seguros e operacionais para desempenhar suas funções ao longo da sua vida útil. O pesquisador pontua que o pleno desempenho das funções dos ativos através de ciclos de inspeção e manutenção bem definidos tem como resultados:

- Gestão eficaz de riscos;
- A vida de ativos estendida;
- Redução dos custos operacionais e de manutenção;
- O cumprimento das obrigações legais;
- Prestação de um ambiente de saúde e de trabalho seguro;
- Melhor desempenho dos sistemas de ativos;
- Previsibilidade de Investimento através de uma abordagem de ciclo de vida.

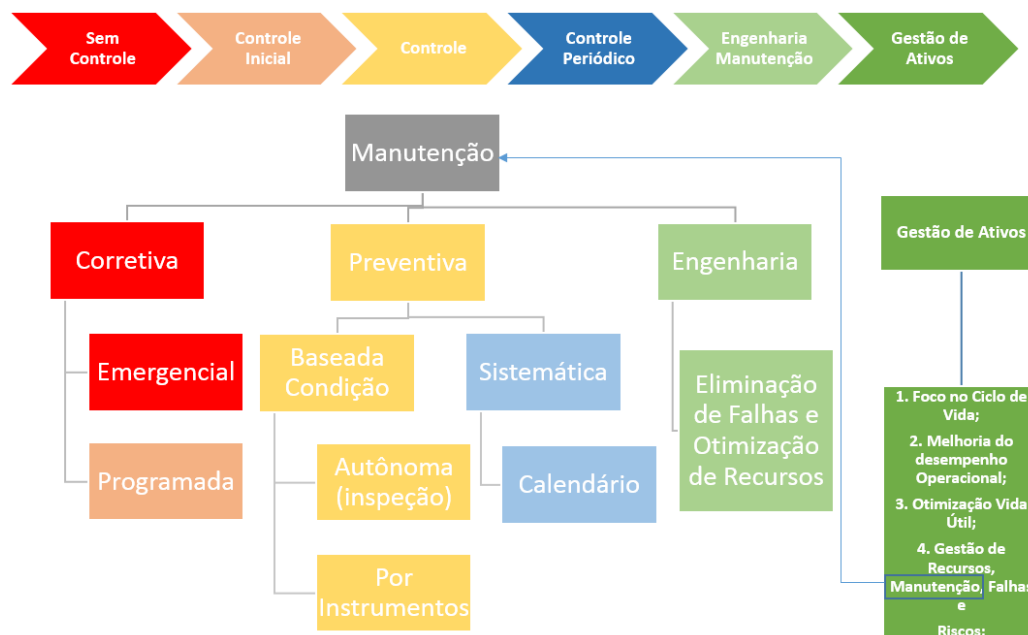
Uma Estratégia de Manutenção inicia a partir da definição dos indicadores que terão o seu desempenho monitorados. Após essa escolha, é possível estabelecer determinados intervalos de valores que correspondam a um certo nível de serviço da infraestrutura. Para o estabelecimento de níveis de serviço num programa de GA é importante que estes sejam definidos tendo por base critérios estratégicos e táticos. Os níveis de serviço podem também ser definidos com base na percepção dos

utilizadores através de parâmetros valorados por estes. A estas expectativas devem-se fazer corresponder parâmetros técnicos, relevantes para o gestor, que reflitam as preferências do consumidor. Os parâmetros técnicos usados na definição do nível de serviço devem ter associados níveis de desempenho que reflitam o desempenho dos ativos, devendo-se utilizar indicadores diferentes e que juntos reflitam o desempenho da infraestrutura como um todo (DANTAS, 2014).

Como esclarecido por Kardec e Nascif (2012), a Gestão Estratégica da Manutenção é a única responsável por definir onde, quando e por que aplicar recursos em cada tipo de manutenção, tendo papel fundamental em (a) estabelecer diretrizes para a formulação de estratégias de manutenção para cada ativo, e (b) como resultado, sistematizar a manutenção dos ativos minimizando os riscos que sua falha traria ao sistema. Pires et al. (2016) complementam que a forma de manutenção mais eficiente, dos pontos de vista financeiro e de segurança, varia conforme as características de cada ativo. Para atingir a melhor forma de manutenção é necessário levar em consideração a consequência de falha, custo de monitoramento ou troca, entre outros parâmetros.

Trombeta (2017) afirma que não é possível falar de excelência na manutenção sem entrar no âmbito da Gestão de Ativos (GA). A figura 4 esclarece como a Manutenção está inserida no contexto da Gestão de Ativos. Este pesquisador também considera a manutenção preditiva como tarefa da manutenção preventiva.

Figura 4 – Estratégias de Manutenção e a Gestão de Ativos



Fonte: Adaptado de Trombeta (2017).

Trombeta (2017) ressalta ainda que é importante observar que a manutenção é uma atividade da GA, auxiliando na definição das melhores estratégias a serem aplicadas para que seja atingido o objetivo final. Isso significa que se deve trabalhar com todas as estratégias de manutenção, desde a corretiva, para os ativos menos críticos até as tarefas preditivas mais modernas, para os ativos mais críticos, formando o que o pesquisador chama de um “Mix Ótimo de Manutenção”.

Em se tratando de ferrovias, e mais especificamente da via permanente, a manutenção pode ser definida como “[...] o processo total de manutenção (e renovação) requerido para assegurar que a via cumpra as normas de segurança e qualidade ao custo mínimo”, CRUZ (1999, apud MOURÃO, 2017, [s.p.]).

Para FORTUNATO (2005, apud SILVA, 2012), o comportamento da via férrea ao longo da sua vida útil depende de vários fatores e da combinação de diversos deles, sendo que todos eles contribuem para a variação do estado da via e para o seu desempenho. Nomeadamente:

- Qualidade de construção da via face às características do tráfego – superestrutura e infraestrutura;
- Geometria da via;
- Sistema de diagnóstico e de controle do comportamento;
- Política de conservação, de reabilitação e de renovação;
- Tolerâncias e desvios admissíveis, estabelecidos em função dos tipos de tráfego;
- Fatores característicos da interação roda/trilho.

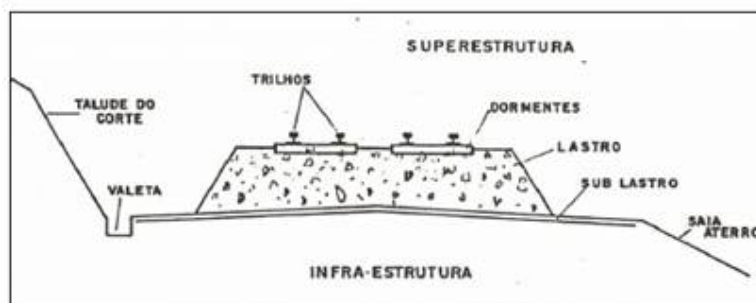
De acordo com SILVA (2006), grande parte da manutenção é executada de forma preventiva, sistemática e conforme tempos predeterminados, supondo que a degradação da superestrutura ocorra de maneira uniforme e conhecida, mas que na verdade deveria ser montado um programa que levasse em consideração cada trecho da via com suas características individualmente

2.2.3 Ativos de Infraestrutura Ferroviária

Como definido na ABNT NBR 7641:1980 – Via Permanente Ferroviária, as ferrovias são divididas em dois grandes grupos, a superestrutura e a infraestrutura. Estão incluídas na superestrutura: trilho, fixadores de trilho, retentores, talas de junção, dispositivos de apoio do trilho, dormente, lastro e sublastro, sendo estes definidos com ativos de superestrutura da via. Já a infraestrutura é constituída por subleito, os sistemas de drenagem, taludes, aterros e obras de artes, sendo estes definidos com ativos de infraestrutura da via.

De acordo com Brina (1988), a infraestrutura das estradas de ferro é construída pela terraplanagem e toda obra situada abaixo do greide de terraplanagem, sendo a sua superfície final chamada de leito ou plataforma ferroviária. Já a superestrutura é constituída pela via permanente, que está sujeita a ação de desgaste das rodas dos equipamentos circulantes e do meio (intempéries), e é construída de modo a ser renovada ou recuperada. O pesquisador define ainda que os principais elementos constituintes da via permanente são: lastro, sublastro, dormentes e trilhos (figura 5).

Figura 5 – Infraestrutura X Superestrutura em ferrovias



Fonte: Brina (1988).

Rodrigues (2001) e Castello Branco e Ferreira (2002) definem que a infraestrutura da linha férrea é um complexo de obras destinadas a formar a plataforma da estrada e suportar a Via Permanente, mantendo o traçado da linha em condições de tráfego. É composta das obras de aterros, de cortes, de drenagem, de pontes, de viadutos, de túneis, etc.

Coimbra (2008) comenta que a ferrovia é composta por diversos subsistemas dos mais complexos possíveis que possuem influência no processo produtivo, pois interferem diretamente na confiabilidade, qualidade e segurança do mesmo. Um dos subsistemas de maior importância e fundamental para a operação de uma ferrovia é a Linha Férrea, que é constituído pelo conjunto de construções, instalações e equipamentos destinados ao tráfego de veículos ferroviários. Segundo este pesquisador a via férrea inclui a infraestrutura e a superestrutura, sendo também denominada Via Permanente.

Silva (2012) pontua que a via ferroviária é um sistema extremamente complexo, composto por diversas áreas que interagem entre si com o mesmo objetivo: garantir a circulação de trens em condições mínimas de segurança, economia e conforto. Complementa ainda que o desempenho econômico da ferrovia está diretamente ligado ao seu nível de rendimento em relação a menores interrupções no tráfego da via permanente, onde circulam as composições.

2.2.4 Ativos Geotécnicos

A norma inglesa HD41:2015 *Maintenance of Highways Geotechnical Assets*, em livre tradução: Manutenção de Ativos Geotécnicos Rodoviários que faz parte do Manual de Projetos de Estradas e Pontes da *Highways England* (concessionária que opera, mantém e melhora a Rede Rodoviária Estratégica da Inglaterra – **SRN**) define ativos geotécnicos como cortes ou aterros naturais ou artificiais abaixo das camadas do pavimento da rodovia, bem como obras de terra próximas da mesma.

Para ferrovias, Liboreiro et al. (2016) enumeram os seguintes elementos integrantes da infraestrutura da via, e os definem como o conjunto de obras destinadas a suportar e resguardar a superestrutura da via, fazendo a seguinte distinção:

- Talude de aterro: é formado pelo acúmulo de material (basicamente de solo) para elevação do nível do terreno natural. Este segmento de ferrovia requerer o correto depósito, espalhamento e compactação controlada de materiais, provenientes de cortes ou de empréstimos, para execução do seu corpo.
- Talude de corte: é formado pela retirada de material de um terreno natural. É o segmento da ferrovia que requerer a escavação do material constituinte do terreno, ao longo do eixo e no interior dos limites das seções do projeto, para definição e nivelamento do corpo estradal de uma ferrovia.
- Plataforma: é o terreno preparado para suportar os elementos da superestrutura da via permanente, tais como o lastro, os dormentes e os trilhos.
- Subleito: é o terreno de fundação, formado por camadas estabilizadas granulometricamente, que se destinam a receber a plataforma.
- Obra de arte corrente (OAC): é um dispositivo padrão (bueiros), muito utilizado na ferrovia, que permitir a livre passagem das águas de talvegues e a captação das águas precipitadas nos taludes.
- Dispositivo de drenagem superficial: objetiva interceptar, coletar e transportar para local seguro de deságue as águas pluviais advindas de suas áreas a montante, resguardando assim a estabilidade e a segurança da plataforma e dos taludes.

- Contenção: é uma estrutura de parede vertical ou quase vertical, apoiada em uma fundação rasa ou profunda, destinada a estabilização de taludes. Podem ser construídas em alvenaria, em pedra, em concreto (simples ou armado), em trilhos e dormentes ou ainda outros elementos especiais.
- Obra de arte especial: é um elemento singular, com função estrutural, de ligação entre margens, entre desníveis ou que permitem a livre passagem da ferrovia por obstáculos existentes (pontes, viadutos e túneis).

De acordo com Pritchard et al. (2018), os ativos geotécnicos compreendem aterros, cortes e seções em declive, e geralmente têm uma longa vida útil de projeto, em comparação com outros grupos de ativos, que podem ser de até 60 anos. Muitas vezes, a vida útil do ativo pode ser estendida por meio de manutenção proativa, objetivando reduzir os custos com manutenções corretivas e reparos.

A norma HD41:2015 aborda que os ativos geotécnicos geralmente têm uma longa vida útil. Eles normalmente se deterioram lentamente ao longo do tempo e exigem pouca manutenção de rotina, desde que os ativos associados, como drenagem e estruturas, sejam bem mantidos, ou os mesmos não sejam perturbados, por exemplo, por remoção de material de suporte (escavação na ponta de uma inclinação) ou abertura de zonas potenciais de fraqueza (escavação na crista de uma encosta).

Uma combinação de envelhecimento do ativo e uma frequência crescente prevista de eventos climáticos mais extremos, devido a mudanças climáticas, poderiam levar os ativos geotécnicos a entrar em uma fase degenerativa sem intervenções apropriadas e oportunas. Existe uma preocupação crescente com a sustentabilidade a longo prazo das terraplanagens rodoviárias e potenciais impactos das mudanças climáticas (MILLER et al., 2012).

Ativos geotécnicos, como encostas de solo e rocha, aterros, muros de contenção e outros elementos são complexos e nossa compreensão de suas vidas de serviços é incompleta. Meios para estimar a condição desses ativos e monitorar sua condição ao longo do tempo são necessários para um programa de gerenciamento de ativos em pleno funcionamento (STANLEY; PIERSON, 2013).

A avaliação completa da infraestrutura geotécnica existente e as mudanças nas condições ambientais são importantes para abordagens de investimento mais eficientes (VARDON, 2014). Contribuindo a isso, Glendinning et al. (2015) em estudo realizado na *Highways England*, afirmou ser necessário entender os ativos geotécnicos que requerem intervenções menores para melhorar sua resiliência de longo prazo ao clima severo e aos impactos das mudanças climáticas.

De acordo com Bouali et al. (2016), as práticas atuais de Gerenciamento de Ativos Geotécnicos visam os reparos de ativos com base em níveis de prioridade, sendo os esforços voltados a:

1. Reconstruir todos os ativos que falharam;
2. “Consertar” os ativos degradados em condições extremas;
3. Realizar manutenção e cuidados preventivos (que dependem de autorização de orçamento).

Bouali et al. (2016) pontuam que essa prática é reconhecida como a pior abordagem, uma vez que os ativos nas piores condições recebem a primeira atenção. Embora essa abordagem seja politicamente compreensível, tem se mostrado cara, demorada e bastante perigosa (JONSSON, 2010; BERNHARDT et al., 2003), e “[...] resulta em degradação geral do sistema, já que nenhum ativo recebe manutenção preventiva a tempo de manter o investimento otimizado” (STANLEY; PIERSON, 2013, p.1660).

Pritchard et al. (2018) relatam que pesquisas em andamento na *Highways England*, como parte do Programa de Desenvolvimento de Riscos Geotécnicos, estão trabalhando para melhorar o conhecimento de sua base de ativos, para obter uma melhor compreensão dos perigos subjacentes relacionados ao solo, vulnerabilidades conhecidas e criticidade da SRN com o objetivo de desenvolver um processo holístico de avaliação de ativos, para o qual os ativos geotécnicos contribuem.

Apresentados os devidos conceitos e estudos referentes a ativos geotécnicos, é necessário esclarecer como a inspeção contribui ao processo de Gestão de Manutenção e Gestão de Ativos em Infraestrutura, sendo esse processo o protagonista do desenvolvimento dessa pesquisa.

2.2.5 Inspeção de Ativos Geotécnicos

A inspeção é a base para a detecção e evolução dos defeitos que vão aparecendo ao longo da vida útil de um ativo (SILVA, 2012). São as distintas inspeções à via que permitem proceder ao levantamento das necessidades de campo, através da identificação dos problemas nela existente. O tratamento dessas informações visa garantir a confiabilidade, segurança e disponibilidade da infraestrutura em seu pleno funcionamento.

A inspeção e o controle da qualidade dos parâmetros de via são a principal forma de prolongar a longevidade da vida útil da mesma, resguardando desta forma quaisquer defeitos e debilidades que a infraestrutura possa apresentar (MOURÃO, 2017). Por sua vez, Silva (2012) comenta que os tratamentos dos dados levantados devem ser dirigidos para a supressão das causas dos problemas, de modo a que estes sejam monitorados e/ou priorizados para tratamento, a fim de que não retornem e obriguem a uma nova interdição da via. Para analisar as possíveis causas de origem desses problemas, deve-se dispor de um relatório de inspeção detalhado e totalmente confiável, a ponto de ser analisado mais tarde.

De forma geral, Mourão (2017) aborda que este trabalho pode ser feito de duas maneiras, ou por meios humanos ou por meios mecânicos, estando a escolha da metodologia utilizada diretamente relacionada com o tipo e a extensão dos trabalhos. A inspeção da infraestrutura da via por meio humano pode ser feita a nível visual por vários operários em conjunto, sendo normalmente realizadas a pé, verificando-se o estado dos materiais do ativo, componentes de drenagem, vegetação, entre outros. O pesquisador complementa ainda que esta metodologia de trabalho tem como principais inconvenientes a morosidade de todos os trabalhos, e a necessidade de precaver a segurança dos trabalhadores na via.

Na *Highways England* as definições, inspeções e priorização de manutenção para os ativos geotécnicos são atualmente realizadas de acordo com a norma HD41:2015

(PRITCHARD et al., 2018). De acordo com a norma a inspeção de um ativo geotécnico tem os seguintes objetivos:

- Observar e registrar a localização e tipo de ativos geotécnicos que são de responsabilidade da concessionária.
- Determinar e registrar as principais características que descrevem cada ativo geotécnico completo (por exemplo o material geológico do qual o ativo é composto, a geometria do ativo, etc.)
- Observar e registrar as características relacionadas à condição do ativo geotécnico no momento da inspeção.
- Avaliar o cenário geotécnico ao longo de toda via, bem como e as atividades dos proprietários de terra adjacentes que possam afetar o desempenho dos ativos.

A norma inglesa HD41:2015 define ainda que existem diferentes tipos de inspeções, cada qual com a sua respectiva função, sendo elas:

- Inspeções detalhadas ou principais – estas são o principal tipo de inspeção, fornecendo inventário e dados de condição.
- Inspeções de Monitoramento – são inspeções realizadas como uma opção de intervenção para lidar com riscos representados por ativos geotécnicos.
- Inspeções de emergência – inspeções realizadas em resposta a um evento geotécnico.
- Inspeções por pessoal não geotécnico, por ex. inspeções de vigilância para reconhecer características geotécnicas óbvias que são indicadores de mudança.

Pires et al. (2016) abordam que para haver gestão de manutenção de infraestrutura, é necessário que sejam levantadas informações relevantes sobre cada ativo, sendo que estas devem auxiliar na avaliação de possível ocorrência de falha. Este autor propôs um passo a passo para a organização e conteúdo da inspeção, que consiste inicialmente no cadastro de todos os ativos relacionados à infraestrutura. Após o cadastro inicial, serão necessárias inspeções periódicas para acompanhamento das características mutáveis dos ativos. Os pesquisadores também sugerem que para fins

de controle, os ativos devem ser cadastrados em sistema informatizado a fim de possibilitar o armazenamento do histórico de manutenção e permitir avaliar a execução do planejamento estratégico da organização.

No trabalho de Pires et al. (2016) dividiu-se os dados necessários sobre os ativos em três grupos, objetivando uma melhor organização, uma vez que foram avaliadas as causas frequentes de falhas e as informações necessárias para a gestão dos mesmos, sendo estes grupos apresentados abaixo:

- Gestão de responsabilidade e localização do ativo: este grupo reúne informações relacionadas à responsabilidade de monitoramento e manutenção do ativo, localização, e os outros controles que serão geridos pela equipe de confiabilidade.
- Características iniciais do ativo: neste grupo são reunidas as informações relativas à condição inicial do ativo, que tem pouco ou nenhuma variação ao longo do tempo.
- Características de estado atual do ativo: grupo no qual foram selecionadas as informações que indicam o estado atual do ativo e que estão constantemente sofrendo alterações (usualmente chamado de condição do ativo).

O próximo passo dos pesquisadores foi sugerir uma listagem de informações mínimas consideradas relevantes para gestão da manutenção dos ativos de infraestrutura. Para taludes de corte, referente ao grupo gestão de responsabilidade e localização do ativo, foram identificadas as seguintes relevâncias:

- Data de inspeção (dd/mm/aaaa);
- Responsável pela inspeção;
- Código do ativo;
- Ramal (RXX);
- EH (localização entre housings);
- Linha (LOX);
- Km início (XXX+XXX);
- Km fim (XXX+XXX);
- Lado (direito; esquerdo);

- Volume previsto (em milhões de toneladas brutas);

Para o grupo de informações relacionadas às características iniciais do ativo, foram listados os seguintes itens a serem levantados:

- Tipo de corte (Misto, em solo ou em rocha);
- Banquetas (quantidade);
- Característica do solo (Muito friável, friável, coeso);
- Altura máxima estimada (m);
- Inclinação (em relação menor que 1:1; 1:1; 1:1,5; 1:2; maior que 1:2);
- Distância do talude em relação à via (m);
- Extensão (m);
- Largura (m);
- Existe drenagem de crista? (Sim; não; parcialmente);
- Existe drenagem de banquetas? (Sim; não; parcialmente);
- Existe drenagem de plataforma? (Sim; não; parcialmente);
- Plano de clivagem (Favorável; Desfavorável; Horizontal)

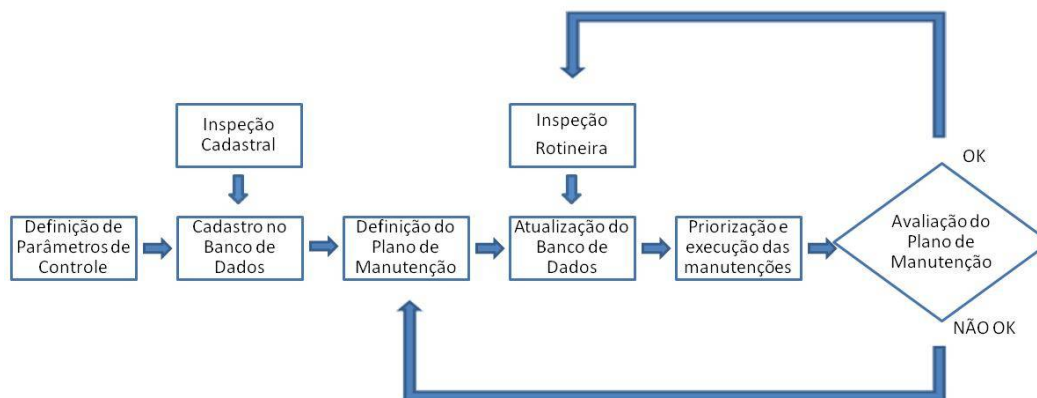
E por fim, para o grupo informações relacionadas ao estado atual do ativo, foram levantadas as seguintes questões:

- Ordem de inspeção (utilizar número do sistema informatizado);
- Cobertura vegetal (Sem vegetação; esparsa; densa);
- Existem pontos de fissura ou trinca? (Sim; Não);
- Existe erosão? (Sim; Não);
- Existem pontos de fuga de material? (Sim; Não);
- Existem pontos de surgência de água? (Sim; Não);
- Existem blocos de rochas instáveis? (Sim; Não);
- Existe talude negativo em rocha? (Sim; Não);
- Existe fratura em rocha? (Sim; Não);
- Grau de fraturamento (Sem fratura; pouco fraturada; fraturada; muito fraturada);
- Histórico de ocorrências (quantidade de falhas anteriores);
- Priorização dada pelo do Inspetor (criticidade);
- Existência de acesso rodoviário (Sim; Não);

- Observações (Campo livre);

Pires et al. (2016) propõe ainda que para a obtenção das informações anteriormente citadas devem ser feitas Inspeções Visuais Sensitivas (IVS), que de acordo com o mesmo, são divididas em Inspeção Cadastral (IC) e Inspeção Rotineira (IR), de acordo com a necessidade de informação de cada uma. Na IC, são coletadas as informações referentes a todos os grupos acima diferenciados, e esta inspeção será a responsável pelo cadastro inicial do banco de dados dos ativos. Já a IR visa controlar as alterações que os ativos sofrerão com o passar do tempo, e deverão ser preenchidos os campos referentes ao grupo de características de estado atual do ativo, sendo que estas serão responsáveis por atualizar o banco de dados do ativo. O pesquisador sugere um fluxograma referente ao processo de cadastro e gestão da manutenção de ativos em infraestrutura conforme figura 6.

Figura 6 – Fluxograma para gestão de ativos em infraestrutura



Fonte: Pires et al. (2016).

Os documentos de inspeção devem estabelecer critérios e metodologias, permitindo a padronização dos dados levantados com uma linguagem uniforme e homogênea. As inspeções são atividades técnicas que demandam de um pessoal capacitado e com experiência no exercício dos trabalhos. Abrange desde a coleta de dados simples até mais complexos, que subsidiam a execução de projetos e afins, o exame minucioso das condições estruturais, elaboração de relatórios, a avaliação do estado da obra e as recomendações, que pode ser tanto para a realização de pequenas obras

de manutenção, como também para a realização de estudos mais aprofundados do ponto inspecionado, bem como obras maiores de recuperação, de reforço ou de reabilitação da estrutura (SILVA, 2012).

O cadastro dos ativos de infraestrutura é o passo inicial para haver gestão de manutenção de infraestrutura. Todas as informações cadastradas devem seguir os padrões pré-determinados e possuir rastreabilidade. O objetivo do cadastro está em dar visibilidade a quantidade de ativos existentes, bem como fornecer informações a respeito do mesmo, formando assim uma base de dados. As chamadas fichas de cadastro devem ser padronizadas e únicas para cada tipo de ativo (DANTAS, 2014).

Silva (2006) aborda que empirismo ainda existe na manutenção da Via Permanente. O direcionamento das ações é quase sempre baseado na experiência profissional que a executa. Porém os métodos de inspeção evoluíram e os registros hoje são mais confiáveis, o que ao menos norteia a aplicação dos recursos e a adoção de uma política de manutenção para determinação do tipo e volume de serviços a serem realizados e por consequência, os custos envolvidos.

Para Dantas (2014) o tipo de informações necessários em uma base de dados eficaz para a gestão de ativos deve conter, sobre cada ativo, informações relativas à definição e localização na rede onde este se encontra, perfil das idades dos ativos, condições dos ativos, níveis de serviço, informação financeira, histórico de intervenções e falhas, o seu valor unitário e custo de substituição, assim como políticas e normas de manutenção e de operação. Este pesquisador complementa ainda que dentro da informação sobre os ativos, um outro objetivo é o de criar um protocolo único de arquivo de dados e nomenclatura de ativos, entre a vertente técnica e financeira dos ativos. Pode-se também realçar a importância de se definirem quais os ativos críticos para a operação do sistema, devendo estes ser alvo de um maior acompanhamento.

2.2.6 Aplicação de programa de GA em ferrovia: caso da *Network Rail*

Entre os vários programas de GA existentes pelo Continente Europeu, pode destacar-se o caso de Gestão de Ativos de Infraestrutura Ferroviária da *Network Rail*. Essa operadora controla os mais de 32.000 quilômetros de linhas férreas da Grã-Bretanha e transporta mais de 4,6 milhões de passageiros diariamente (NETWORK RAIL, 2018).

O objetivo central do programa de GA local é o do aumento da capacidade da rede em conjunto com a redução dos custos de manutenção, numa rede que é das mais congestionadas e antiquadas da Europa. A política de GA da Network Rail aplica-se a todos os ativos que perfazem a via-férrea, a respetiva operação e as atividades de manutenção e renovação da via.

Dentre as várias áreas onde se pretende melhorar estão, entre outras: a otimização das intervenções nos ativos, a informação sobre os ativos, a gestão do risco, a consideração de vários cenários e a otimização do equilíbrio entre eficiência do trabalho através do aumento do período de interrupção da circulação e da disponibilidade de via.

Os objetivos deste programa da gestão de ativos são estabelecidos a cada 5 anos, o chamado período de controle. No período de controle composto entre anos de 2004 a 2009, ao mesmo tempo que se melhoraram as condições da infraestrutura, aumentando a sua confiabilidade, segurança e desempenho, verificou-se uma redução significativa dos custos das operações de manutenção e renovação da via férrea. Durante o mesmo período, os custos base com a infraestrutura ferroviária diminuíram em 27%, apesar do aumento do tamanho dos trens em 5% (NETWORK RAIL, 2011).

A tendência é implementar progressivamente, entre os anos de 2015 a 2020, uma abordagem de manutenção baseada no risco. Desta forma, a investigação deste caso de GA de infraestrutura ferroviária objetiva a classificação dos modos de falha e aquisição de novos dados relativos à degradação dos ativos, efeitos das falhas em

termos de desempenho da infraestrutura e custos relativos ao incremento do risco com o aumento do tráfego, registros de atividades de manutenção planejadas e não planejadas, bem como melhoramentos na parte financeira e a substituição do equipamento atual por um equivalente de nova geração.

2.3 GESTÃO DE RISCOS EM TALUDES

Face ao recente acontecimento de um grande acidente ambiental de repercussão internacional, a preocupação com gestão de riscos associada ao negócio está em foco, e medidas proativas que suportem uma organização estão sendo repensadas e melhor estruturadas. No modal ferroviário deve-se buscar, dia após dia, melhorias e ações no âmbito do gerenciamento dos riscos relativos ao negócio. Além das interrupções no tráfego da via acarretarem custos diretos e indiretos, através de despesas com obras, atrasos no transporte de cargas, perdas de produção e diminuição da receita, a repercussão negativa de um acidente não pode ser estimada pois, além de ativos físicos, pessoas estão em risco.

A gestão de riscos é parte integrante de todo o processo de GA. No entanto, há necessidade específica de ter processos para identificar e monitorar os riscos, não somente atendendo a legislação vigente, mas como pratica que possibilite otimizar e priorizar ações com base em custos e desempenhos (ICA, 2015). O gerenciamento de riscos, de acordo com FHWA e AASHTO (2013), deve ser visto como um direcionador central de negócios que influencia todas as atividades e não como um processo isolado e complementar. Essa associação comenta também que a integração do gerenciamento de riscos no gerenciamento de ativos é relativamente nova, e todos os tipos de ativos de infraestrutura têm incerteza e fatores de risco associados a eles.

Atualmente, na prática comum, o risco na gestão de ativos em infraestrutura é avaliado como vulnerabilidade a riscos naturais e/ou provocados pelo homem (FHWA; AASHTO, 2013). A norma HD41:2015 considera que os seguintes tipos de perigos (*hazard*) devem ser considerados em:

- Perigos naturais (*natural hazards*), relacionados com o ambiente natural em que a infraestrutura está localizada. Esses perigos podem ser devidos ao comportamento de materiais geológicos (por exemplo, vazios devido à dissolução de calcário ou solo mole-compressível devido à presença de aluvião) ou ao comportamento de encostas naturais dentro da paisagem (por exemplo, instabilidade de encostas).
- Perigos provocados pelo homem, relacionados com a imposição da infraestrutura na paisagem, por exemplo encostas íngremes em terraplanagem.

Bertuol (2013) comenta que no que tange a Geotecnia, especialmente à estabilidade de taludes, a população fica vulnerável devido à ocupação de terrenos inadequados para o desenvolvimento - pela construção de estradas e ferrovias, áreas residenciais, comerciais e industriais. Quando regiões instáveis são utilizadas, eventos como escorregamentos de terra, fluxo ou corrida de detritos e quedas, tombamento e rolamentos de blocos, podem gerar grandes catástrofes.

As áreas de risco são as normalmente sujeitas às instabilidades proporcionadas por características específicas do solo, aspectos geológicos geotécnicos, e o inadequado uso do solo associados à ação hidráulica. Esses locais propensos a deslizamentos predominam em regiões de ocupação desordenada da população e pela precariedade de sistemas de infraestrutura (FIGUEIREDO, 1994).

Em pesquisa realizada por Alves (2012) na ferrovia MRS Logística S.A., observou-se que a ocupação indevida não foi um fator relevante, pois geralmente as regiões com tendência a instabilidade, na ferrovia estudada, não são habitadas. Portanto, supôs-se que a causa principal de deslizamentos no entorno da malha da empresa foi a falta ou inadequação de sistemas de drenagem, a falta de manutenção destes e à vibração constante proporcionada pelas passagens das composições.

Diante do exposto, discute-se nesta pesquisa as questões referentes a gestão de riscos geotécnicos quando a iniciativa privada e a população ficam sujeitos a movimentos de massa capazes de gerar danos. A abordagem tem seu enfoque

direcionado as estratégias de minimização dos riscos causados pela instabilidade de taludes em infraestrutura e projetos lineares (ferrovias, rodovias, redes de distribuição), em que são observadas semelhanças nas medidas adotadas para a gestão de risco em taludes com as medidas adotadas com a gestão de ativos geotécnicos, uma vez que a gestão do risco auxilia a uma gestão de ativos mais eficaz.

2.3.1 Terminologias utilizadas

O deslizamento de terra é um importante risco geológico que causa danos ao meio ambiente natural e social. Os conceitos de riscos geológicos foram consolidados na década de 80 (VARNES, 1984; EINSTEIN, 1988), e desde então vem sendo motivo de discussão, com grande diversidade de conceitos e terminologias. São amplamente relatadas as dificuldades encontradas para se estabelecer conceitos gerais a respeito do tema risco, do termo do inglês *hazard*, bem como para os conceitos de suscetibilidade e vulnerabilidade, amplamente usados nas estimativas e avaliação de risco.

Varnes (1984), em seu trabalho realizado para a Associação Internacional de Geologia de Engenharia e publicado pela Organização das Nações Unidas (ONU), com o objetivo de normatizar a terminologia aplicada a estudos nas áreas geológicas geotécnicas, propôs uma definição formal para diferentes sentidos de risco, como risco específico, perigo e vulnerabilidade.

Bertuol (2013) relata em sua pesquisa que a ONU, preocupada com os avanços dos desastres naturais, escolheu a década de 90 como a Década Internacional para Redução de Desastres Naturais. Assim, a partir daquele momento, foram publicados pela Organização vários textos referentes ao assunto. A terminologia também foi uma das preocupações da ONU, por isto, em 2009, lançou os Termos Básicos de Redução de Riscos de Desastres, UNISDR (2009). O objetivo do documento foi promover uma terminologia comum a todos. Assim, os termos adotados servem para muitas outras tarefas, além daquela de mapeamento de deslizamento de encostas.

A padronização dos termos e a uniformização dos conceitos e nomenclaturas são essenciais para o avanço dos estudos de risco geológico-geotécnico. Ao longo da reflexão dos conceitos ligados a este tema, notou-se uma evolução em direção a uma homogeneização geral, como um passo adiante para o desenvolvimento dos estudos relacionados a deslizamentos de terra ou movimentos de massa (CORTELETTI, 2014).

A seguir serão apresentados os termos gerais mais relevantes conforme Fell et al. (2008), encontrados no livro Diretrizes para o Zoneamento da Suscetibilidade, Perigo e Risco de Deslizamento para Planejamento do Uso do Solo (2013), que é a tradução do original em inglês *Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning*, manual técnico concebido por especialistas de 15 países, dentre os quais o Brasil, sob os auspícios do JTC-1 - *Joint Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes*, Comitê Técnico de Escorregamentos e Taludes Construídos das associações internacionais ISSMGE, IAEG e ISRM. Este livro resultou do esforço conjunto das entidades ABGE, ABMS e especial apoio do Serviço Geológico do Brasil – CPRM. Sendo os termos:

- Inventário de deslizamentos: reunião de dados sobre os deslizamentos já ocorridos, tais como: localização, classificação, volume, atividade e data de ocorrência de deslizamentos.
- Suscetibilidade a deslizamento: avaliação de deslizamentos que existem ou potencialmente podem ocorrer na área avaliada.
- Perigo de deslizamento: uma condição com o potencial para causar uma consequência indesejável. A descrição do perigo de deslizamento deve adicionar à suscetibilidade de deslizamento, entre outras questões, uma análise de frequência estimada de deslizamentos.
- Elementos em risco: população, edifícios, obras de engenharia, atividades econômicas, serviços públicos, entre outras, na área potencialmente afetada pelo perigo de deslizamento de terra.
- Vulnerabilidade: o grau de perda para um determinado elemento ou conjunto de elementos, inseridos em uma área afetada pelo perigo de deslizamento. Para propriedades, a perda será o valor do dano em relação ao valor da

propriedade; para pessoas, vai ser a probabilidade de vidas a serem perdidas, dado o número de pessoa (s) que serão afetadas pelo deslizamento.

- Risco de deslizamento: uma medida de probabilidade e gravidade de um efeito adverso à saúde, vida, propriedade ou ao ambiente. O risco calcula a probabilidade de dano, pois já são conhecidas as vulnerabilidades e perdas esperadas do sistema mapeado no caso de um evento.

Smith (1992, p. 11) adota que a definição de *risk* (risco) é por vezes tomada como sinônimo de *hazard* (perigo), mas o *risk* tem a implicação adicional da possibilidade de um determinado *hazard* realmente ocorrer. Devido a isso, pode-se definir *hazard* como "[...] uma ameaça potencial para os seres humanos e seu bem-estar" e o *risk* como "[...] a probabilidade de ocorrência de um *hazard*". O pesquisador demarca assim *risk* como um fator probabilístico, independentemente de ser quantificável ou não, e o *hazard* como um evento danoso, que coloca em perigo.

Não podemos deixar de citar outras definições usadas internacionalmente, como Aleotti e Chowdhury (1999), que consideram que risco é igual a perigo versus a vulnerabilidade versus os elementos em risco. Diante do exposto observamos que os autores consideram ainda que o risco aumenta conforme haja acréscimo no desenvolvimento local.

Uma das dificuldades práticas de se calcular o risco, como um produto do perigo versus consequências, está na limitação da quantificação das consequências em si, uma vez que um escorregamento pode provocar diferentes consequências ou danos, e em geral é difícil associar custos diretamente a estes danos, afirma Einstein (1997).

Nacionalmente, a tentativa de padronização de nomenclaturas iniciou na década de 90. Augusto Filho et al. (1990) descreve que risco representa a possibilidade ou probabilidade de ocorrência de algum dano a uma população (pessoas, estruturas físicas, sistemas produtivos) ou a um segmento da mesma. É uma condição potencial de ocorrência de um acidente.

Zuquette (1993) propõe que risco é a probabilidade de que ocorram perdas (econômicas, sociais e ambientais), além de um valor ser considerado normal ou aceitável para um lugar específico, durante um período de tempo determinado. É considerado o resultado da relação entre um *hazard* e vulnerabilidade dos elementos expostos (seres humanos, residências, entre outros). Esse autor ainda relata que *hazard* é um evento perigoso, que representa um perigo (latente) e se associa a um fenômeno de origem natural ou provocado pelo homem, manifestando-se em um lugar específico, em tempos determinados, produzindo efeitos adversos nas pessoas, nos bens, e/ou no meio ambiente.

Cerri (1992) apud Cerri (1993), apresentou uma normatização nacional dos conceitos, termos e nomenclaturas relacionadas ao tema risco. Ele afirma que a probabilidade de ocorrência de um evento é denominada suscetibilidade, enquanto risco geológico é o resultado da combinação entre a da probabilidade de ocorrência de um evento, induzido ou não, e as consequências sociais e econômicas potenciais. Assim, segundo Cerri (1992) tem-se:

$$S = P$$

Onde: S – suscetibilidade;

P – Probabilidade de ocorrência de um evento;

$$R = P \times C \quad (1)$$

Onde: R – risco;

P – Probabilidade de ocorrência de um determinado evento;

C – Consequências sociais e/ou econômicas potenciais.

Os conceitos de suscetibilidade e vulnerabilidade estão intimamente associados ao conceito de risco, e também são objeto de amplo debate de definições, particularmente a vulnerabilidade. Zuquette (1993) comenta que a vulnerabilidade é uma característica intrínseca do sistema ou elemento que estão expostos a um *hazard*, correspondendo à predisposição destes em serem afetados ou suscetíveis a

perdas, sendo expresso em uma escala que varia de 0 (sem perdas) a 1 (perdas totais). Já a suscetibilidade é a possibilidade de que um escorregamento ocorra em uma área, com base nas condições do terreno local, não considerando, de forma explícita, a probabilidade de ocorrência que dependa da recorrência de fatores desencadeantes, tais como as precipitações ou sismos.

De acordo com Guzzetti et al. (1999), suscetibilidade a deslizamentos é definida pela propensão do terreno a produzir ruptura de taludes. Matematicamente, pode ser considerada como a probabilidade de ocorrência espacial de rupturas em encostas com características conhecidas, dada uma série de condições ambientais. A ocorrência destes processos é o resultado da combinação favorável de uma ou mais condicionantes, as quais em geral não são acessíveis à investigação direta. Como alternativa, é possível investigá-la por meio de variáveis que apresentam relação de dependência com estas condicionantes e, conseqüentemente, relação com a ocorrência do processo.

O conceito de vulnerabilidade é mais subjetivo e propenso a variantes diversas. Segundo Lavell (2001), para uma ameaça ou um perigo existir, é necessário a existência da vulnerabilidade. Se não há propensão para a ocorrência de danos frente a um determinado evento físico, não há ameaça, não há risco, há apenas eventos físicos, naturais, sociais ou tecnológicos sem repercussão na sociedade.

Alheiros (2003) enfatiza ainda que se pode afirmar que não há unanimidade internacional sobre risco geotécnico; os termos *hazard* e *risk* são, muitas vezes, utilizados como sinônimos. Apesar desses termos serem intimamente relacionados, o primeiro refere-se à probabilidade de ocorrência de um desastre, enquanto o segundo expressa às conseqüências em termos de danos e perdas de vidas, propriedades e serviços, caso esse desastre venha a ocorrer. Devido a isso, a análise de risco compreende não apenas o estudo da probabilidade de ocorrência dos acidentes, como também o potencial de perdas econômicas e sociais associadas, que expressa vulnerabilidade. Os procedimentos atualmente aplicados para essa análise são quase sempre específicos baseados em condições locais, de difícil aplicabilidade direta em

outras regiões que apresentem contextos geológicos, ambientais ou socioeconômicos diferentes.

Reckziegel e Robaina (2005) relatam que são inúmeros os conceitos utilizados para a definição de risco e seu significado, algumas vezes, muda de uma bibliografia para outra. No meio técnico as terminologias utilizadas para designar o significado da palavra risco ainda são controversas no sentido semântico da palavra, sendo que um dos maiores problemas está associado com a falta de uniformidade de uso dos termos ingleses *risk* e *hazard*.

Augusto Filho et al. (1990) consideram que um tufão ou terremoto, ocorrendo em uma região desabitada, correspondem a um evento. Entretanto, quando esses fenômenos ocorrem em uma região ocupada, se tornam um risco, e se ocorrerem mortes decorrentes ou destruição de construções, tornam-se um acidente. Cerri e Amaral (1998) conceituam as diferenças entre evento, risco e acidente na figura 7 e afirmam que os fenômenos naturais não são riscos, eles tornam-se riscos por causa do homem, de sua ignorância ou de sua negligência. Esses autores acrescentam que um fenômeno geológico pode tornar-se um acidente ao gerar consequências sociais e econômicas ou, quando não há registro de danos relacionados a ele, torna-se um evento.

Figura 7 – Conceitos de acidente, evento e risco

Acidente	Fato já ocorrido, onde foram registradas consequências sociais e/econômicas relacionadas diretamente ao fato
Evento	Fato já ocorrido, onde não foram registradas consequências sociais e/ou econômicas relacionadas diretamente ao fato
Risco	Possibilidade de registro de um acidente

Fonte: Modificado de Cerri e Amaral (1998).

Com base em tudo que foi exposto, os termos utilizados nesta dissertação seguem os termos gerais encontradas no *Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning*, (FELL et al., 2008), sendo importante citar que essas

definições foram traduzidas o mais fielmente possível no livro Diretrizes para o Zoneamento da Suscetibilidade, Perigo e Risco de Deslizamento para Planejamento do Uso do Solo (MACEDO; BRESSANI, 2013).

2.3.2 Estratégias de Gerenciamento de Riscos Geotécnicos

Ao se pensar em gerenciamento de risco existem três opções primordiais que devem ser avaliadas pela iniciativa privada e pelos governos para a redução de ameaças naturais: (a) não tomar atitude, (b) prover auxílio e assistência à reabilitação pós-sinistro e (c) tomar posição proativa para frear e contornar as ameaças de deslizamentos a fim de evitar danos sérios (SCHUSTER; KOCKEKMAN, 1996).

A definição entre as melhores técnicas de gerenciamento de escorregamentos de terra, de acordo com COSTA (2005), deveria apoiar-se nos custos, sem necessariamente serem custos financeiros. Conforme este autor seriam os custos iniciais/diretos (por exemplo, construção ou remoção), custos sociais e potencial de ruptura que deveriam ser considerados, visto que as opções de gerenciamento são feitas sobre o imponderável, ou seja, os futuros eventos desencadeadores de instabilidade de encostas e movimentos de massas, que não possuem data certa para acontecer.

Para vencer a complexa questão de gerenciamento de riscos geotécnicos, é necessário que se desenvolva um plano de gerenciamento de risco, com uma abordagem multidisciplinar. Bertuol (2013), em estudo sobre minimização de riscos de deslizamentos de terra feito para a rodovia BR 376 no estado do Paraná/BR, comenta que ações implantadas referentes à de gestão de riscos geotécnicos, auxiliem na: (a) redução de custo com seguro, (b) emissão de sinais de alerta em condições meteorológicas desfavoráveis, (c) simulação dos efeitos de uma determinada intervenção em uma região problemática, (d) servir como base de dados para anteprojetos de Engenharia, (e) priorização de intervenções, entre outras.

De acordo com Bandeira e Coutinho (2008), há uma semelhança no processo de gerenciamento de riscos, ou seja, atividades análogas a serem desenvolvidas no

Brasil e no resto do mundo. Algumas semelhanças podem ser exemplificadas: (a) pelo Programa para Redução de Riscos de Escorregamentos Norte Americano – U.S. Geological Survey (1982), (b) pelas estratégias indispensáveis para gerenciamento de riscos sugeridas pela Organização das Nações Unidas para Tratamento de Desastres – UNDRO (1991) e (c) Fell e Hartford (1997) e Fell et al. (2008). Uma breve descrição destas é feita a seguir.

Segundo Costa (2005), o Plano Norte-americano segue as seguintes premissas:

- Base adequada de informações técnicas;
- Comunidade técnica apta a aplicar e ampliar esta base de dados;
- Governo local habilitado e preocupado com o problema;
- Cidadãos conscientes do valor do plano (mantendo assim o programa que promoverá a saúde, segurança e bem-estar geral da sociedade).

As estratégias desenhadas em UNDRO (1991) estão as abaixo listadas:

- Identificação e análise de riscos;
- Ações não estruturais de redução de risco (criação de planos preventivos, de monitoramento e de emergência);
- Ações estruturais de redução de desastres (consistem em obras de Engenharia);
- Informações públicas e treinamento;
- Planejamento para emergências.

Os processos de gerenciamento descritos por Fell e Hartford (1997) e Fell et al. (2008), se dividem em 3 grandes abordagens principais.

- Análise de risco;
- Avaliação de risco;
- Gerenciamento de risco.

Clayton (2001) expõe que o método tradicional para o controle de riscos associados ao subsolo passa por uma completa investigação e projeto geotécnico, produzindo um plano robusto e bem acertado às condições do subsolo. O autor ainda esclarece que, apesar de nenhuma construção estar isenta de riscos, esses podem ser minimizados,

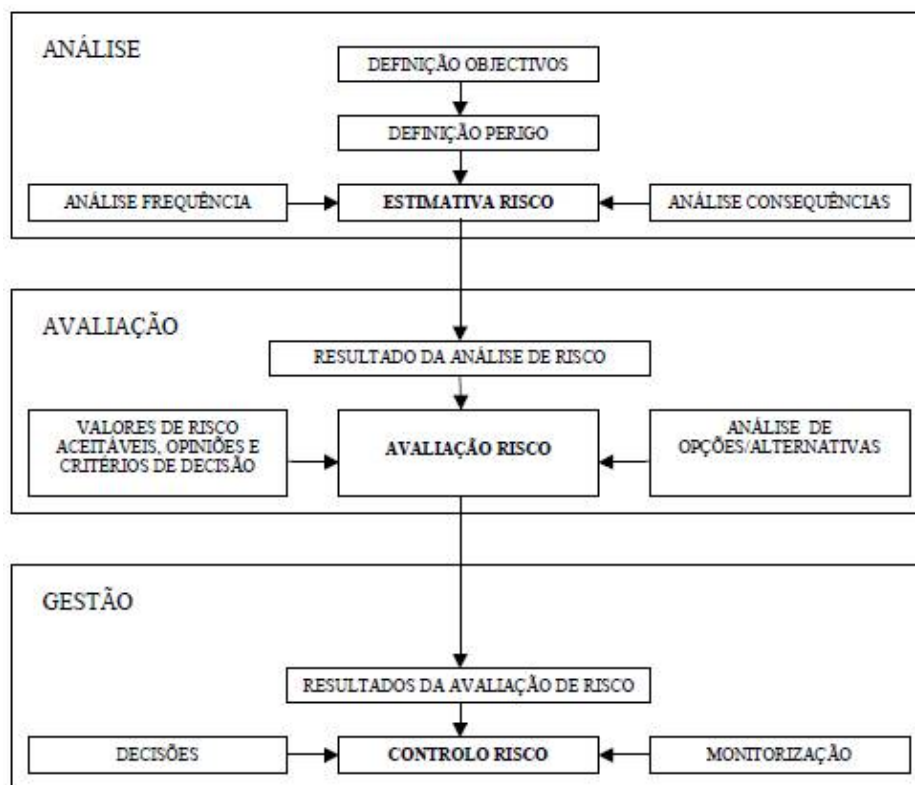
manejados (controlados), compartilhados, transferidos ou aceitos, porém não podem ser ignorados.

2.3.2.1 Identificação e análise de riscos geológicos

A identificação e análise de riscos são as atividades protagonistas sobre a qual se apoiará todo o restante das ações para mitigação de riscos. Sendo assim, as etapas de trabalho podem ser divididas em duas: (a) identificação de riscos e (b) análise de riscos identificados (BERTUOL, 2013). A identificação dos riscos geológicos se inicia a partir do levantamento dos dados existentes, passando pela definição do que precisa ser investigado, chegando a devida inspeção a campo, processo esse, similar as inspeções nos ativos geotécnicos de infraestrutura. No trabalho realizado por Bandeira e Coutinho (2008) na região Metropolitana de Recife, os autores comentam que estas etapas foram realizadas por equipes técnicas compostas por geólogos, engenheiros civis e assistentes sociais em parceria com técnicos da Defesa Civil.

De acordo com Fell et al. (2008), a análise de risco deve ser tratada como um processo que estima forma, dimensão e características do risco. De acordo Fell & Hartford (1997) adaptado por Garcia e Zêzere (2003) a abordagem completa do risco engloba três fases: Análise, Avaliação e Gestão, apresentadas na figura 8. A análise do risco equivale à etapa em que, com base na informação disponível, se estima o risco a que os diversos elementos estão expostos. De uma maneira geral, a análise do risco engloba a definição dos objetivos de estudo, a identificação dos tipos de perigo, e a análise da frequência temporal e das consequências.

Figura 8 – Etapas do processo de estudo do risco



Fonte: Garcia e Zêzere (2003) adaptado de Fell e Hartford (1997).

Em trabalho realizado na Região Metropolitana de Recife, Bandeira e Coutinho (2008), relatam que para a identificação de risco, a metodologia de trabalho consiste em trabalhos de escritório e de campo, e para tal, se faz necessária uma equipe técnica composta por engenheiros, geólogos, assistentes sociais e técnicos da Defesa Civil local. Esse processo resultará no mapeamento das áreas de risco com uma avaliação básica dos riscos, analisando a suscetibilidade dos solos – declividade, tipo de material envolvido e características de drenagem superficial e subsuperficial (MENDONÇA et al., 2008).

Bertuol (2013) esclarece que os trabalhos chamados de escritórios consistem em: (a) construção de base cartográfica georeferenciada em escala adequada, (b) levantamentos de dados disponíveis (mapas, cadastros, fichas de inspeção) obtidos em pesquisas bibliográficas ou base de ativos pré-existentes e (c) pré-setorização das áreas de risco.

Findada a análise preliminar dos dados existente (trabalhos de escritório) passa-se aos trabalhos de campo. De acordo com Bandeira e Coutinho (2008), os principais materiais utilizados nos trabalhos de campo são: (a) fichas de avaliação de risco e fichas das intervenções de Engenharia, (b) mapas, (c) checklist de itens a serem observados, (d) câmera digital para o registro das situações de risco no campo e (e) GPS para anotação de coordenadas.

Para a identificação de risco, a metodologia de trabalho consiste, respectivamente, em trabalhos de escritório e de campo (BANDEIRA; COUTINHO, 2008). Este processo resultará no mapeamento das áreas de risco, conforme recomenda o Ministério das Cidades para os municípios brasileiros:

- Com uma avaliação qualitativa básica dos riscos, avaliando suscetibilidade dos solos - declividade, tipo de material envolvido e características de drenagem superficial e subsuperficial (MENDONÇA et al., 2008);
- Com uma avaliação qualitativa básica da vulnerabilidade de determinado ambiente exposto aos acidentes - ou seja, situação de ocupação do solo que compreende densidade de moradias, cortes, aterros, lançamento de detritos, sobrecargas, desmatamentos e redes de água e esgoto (MENDONÇA et al., 2008).

Segundo Carrara (1983) apud Tominaga (2007) não há um único método padronizado para avaliação dos riscos a escorregamentos, podendo ser desenvolvidas diferentes metodologias para se adaptarem a natureza de uma área ou de um projeto particular.

Voltado para a área de risco de escorregamento de terra, o ISSMGE no TC32 (2004) apresenta as premissas e as informações necessárias para estimar o risco para ambiente, indivíduos e populações, a partir do potencial de ocorrência de um perigo. Comenta-se que as análises de risco geralmente abrangem os seguintes passos:

- Definição do escopo;
- Identificação do perigo;
- Estimativa de probabilidade de ocorrência;
- Estimativa da vulnerabilidade dos elementos;

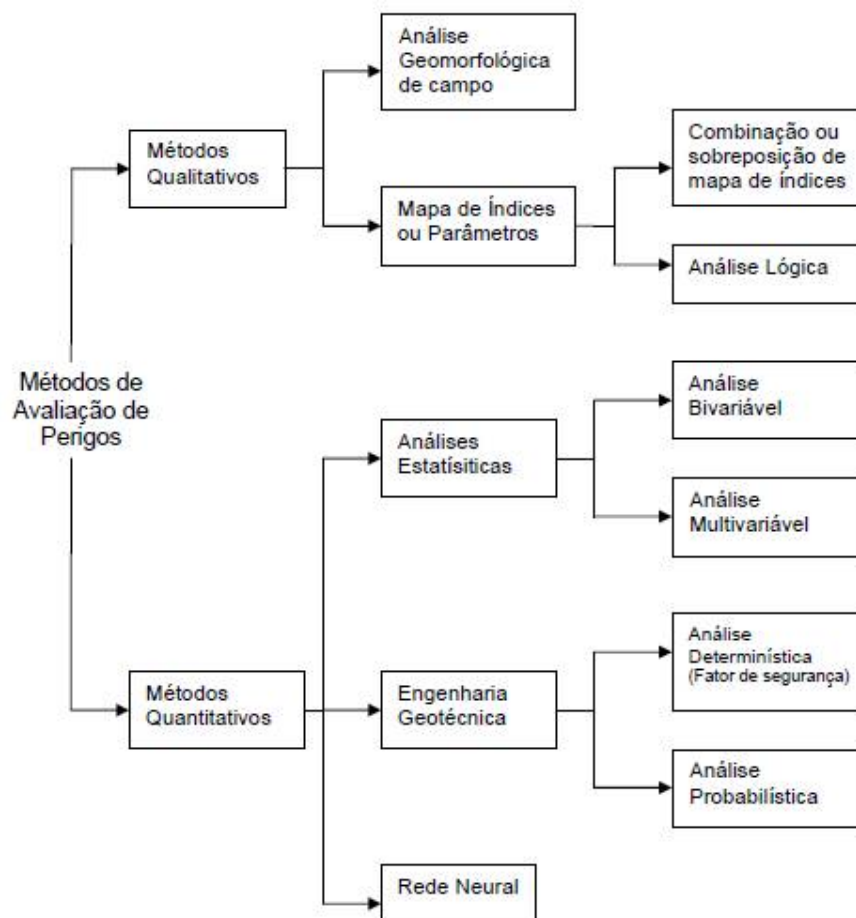
- Identificação de consequência;
- Cálculo do risco.

Do que já foi abordado sobre a ocupação humana, fica notória que a análise de riscos se tornou uma prática indispensável para gerir problemas da antropização do meio ambiente (BERTUOL, 2013). Fell et al. (2008), complementam ainda que essa análise inclui a avaliação do perigo e das consequências, esta última compreendendo a identificação e quantificação de elementos em risco (humanos e materiais), além da probabilidade espaço/tempo de perdas de vidas e bens. Esses pesquisadores ainda comentam que é necessário fazer uma avaliação do risco, que é a etapa onde se faz o julgamento do risco, baseado em critérios de aceitação. Os critérios de aceitação são os julgamentos de riscos toleráveis ou não, feitos através da demanda social e regulamentação da área, além de verificar se as medidas mitigadoras que estão sendo utilizadas são apropriadas para controle do risco. Assim, é possível definir graus de riscos (baixo, médio, alto e muito alto) a cada região inspecionada, pois desta forma é possível priorizar as intervenções.

Observa-se semelhanças nas estratégias de gerenciamento de riscos geotécnicos ao processo de gestão de ativos geotécnicos, pois ambos convergem para a necessidade uma base de informações adequadas, identificação e análise dos problemas encontrados através de inspeção a campo, priorização dos locais a serem monitorados e também das intervenções necessárias ao retorno da estabilidade nos pontos identificados como problemáticos.

Da mesma forma, Aleotti e Chowdhury (1999) propõem uma nova classificação dos métodos de avaliação de suscetibilidade e de perigo a escorregamento conforme apresentado na figura 9. Analisando essa proposta constatamos que os métodos de avaliação de perigos de escorregamentos são também divididos preliminarmente em dois grandes grupos classificados como metodologias qualitativas e quantitativas.

Figura 9 – Classificação de métodos de avaliação de perigos a escorregamentos



Fonte: Modificado de Aleotti & Chowdhury (1999).

Nas últimas três décadas, a análise do risco de deslizamentos foi realizada em diferentes partes do mundo. Diversas abordagens têm sido desenvolvidas, tais como mapeamento baseado em inventário, abordagem heurística, avaliação probabilística, abordagem determinística, análise estatística e tomada de decisões multicritério (PARDESHI et al., 2013).

Análise qualitativa de riscos

De acordo com Glossário de Termos de Avaliação de Risco do ISSMGE TC32 (2004), a análise qualitativa usa a forma de texto, de natureza descritiva ou por escalas numéricas, para descrever a magnitude das consequências potenciais e a probabilidade de que estas consequências ocorram.

A análise qualitativa, em geral, é baseada no julgamento do profissional que está realizando a avaliação. Nessa análise o profissional experiente avalia os dados derivados de observação de campo e/ou de interpretação de fotos aéreas (TOMINAGA, 2007). Nessa avaliação ele considera: os condicionantes e os indícios de ocorrências do processo de instabilização; compara com situações existentes na área estudada; e com base em sua experiência, hierarquiza as situações de risco em função da possibilidade de ocorrência do processo em um determinado período de tempo (CARVALHO, 2000).

De acordo com Aleotti e Chowdhury (1999) os métodos qualitativos podem ser baseados em análise geomorfológica de campo, ou em análise de combinação ou superposição de mapas e índices. Nos métodos que utilizam a análise geomorfológica, a avaliação e o zoneamento dos perigos são realizados diretamente no campo pelo profissional das ciências da terra, baseado em sua experiência de outras situações similares. No método baseado em sobreposição ou combinação de mapas de índice ou parâmetros, o especialista seleciona e mapeia os fatores que afetam as estabilidades das vertentes e, baseado na experiência pessoal, determina para cada fator, um valor ponderado proporcional à esperada contribuição relativa em gerar a instabilização.

Análise quantitativa de riscos

Esta análise resulta em um valor numérico para o risco, pois se baseia em valores numéricos da vulnerabilidade, probabilidade e consequências (ISSMGE TC32, 2004). A estrutura dessa análise é idêntica à qualitativa, residindo a grande diferença no cálculo de probabilidades. O uso de expressões matemáticas tem a vantagem de facilitar o confronto entre riscos e medidas de mitigação (GARCIA; ZÊZERE, 2003).

De acordo com Faria (2011) os métodos quantitativos produzem uma estimativa numérica, isto é, a probabilidade de ocorrência de escorregamentos e a distribuição probabilística das consequências numa determinada área.

Segundo o IUGS (1997 apud CORTELETTI, 2014), a análise de risco quantitativa abrange as seguintes etapas:

- Análise da probabilidade e das características dos escorregamentos potenciais;
- Identificação dos elementos em risco, isto é, seu número e características, incluindo sua variabilidade temporal e vulnerabilidade aos perigos identificados;
- Análise da vulnerabilidade dos elementos em risco e;
- Cálculo do risco a partir das etapas anteriores.

No Brasil, e em muitos lugares do mundo, as avaliações de risco são feitas predominantemente de forma qualitativa em detrimento de avaliações quantitativas (BRASIL, 2006). Ou seja, os riscos são avaliados com base em julgamentos técnicos subjetivos da equipe envolvida no trabalho e informações das populações envolvidas. Os métodos quantitativos, ainda pouco testados no Brasil, estão sendo aplicados em cidades que possuem um banco de dados consistente sobre deslizamentos: sua distribuição temporal, causas do acidente, volume de massa deslizada, recorrência dos processos e intensidade das chuvas entre outras informações que são imprescindíveis para realização de uma avaliação quantitativa de risco.

Tomada de decisão multicritério

A avaliação de risco de escorregamentos envolve a consideração diversas variáveis explicativas de deslizamento de terra. É uma tarefa crítica determinar a contribuição relativa de um parâmetro individual na ocorrência de escorregamentos. Portanto, os Métodos Multicritério de Apoio a Decisão (MMAD) são de extrema importância na abordagem da avaliação do risco geotécnico (PARDESHI et al., 2013).

O Processo Analítico Hierárquico (AHP) é um MMAD de medição através de comparações sábias par a par, e se baseia nos julgamentos de especialistas para obter escalas de prioridade (SAATY, 2008). O AHP opera em quatro níveis: definição do problema, determinação de metas e alternativas, construção de pares na matriz de comparação e, determinação de pesos e prioridade geral.

Na análise de risco de deslizamentos de terra, existem inúmeros parâmetros desencadeantes, com geometria do talude, material de composição, presença de água, entre outros. Números absolutos de 1 a 9 são atribuídos com base no conhecimento do especialista e da importância relativa designada a cada parâmetro de escorregamento estudado, e são construídas matrizes para calcular a análise e o índice de consistência (PARDESHI et al., 2013).

2.3.2.2 Ações para redução de riscos geotécnicos

Os trabalhos descritos no item 2.3.2.1 possibilitam o conhecimento e direcionamento sobre os pontos mais críticos a serem aprofundados, sendo possível definir as estratégias que serão adotadas para o gerenciamento do risco desses locais. Essas estratégias, segundo o Ministério das Cidades, que segue os preceitos indicados em UNDRO (1991), podem ser (a) ações não estruturais ou (b) ações estruturais.

Segundo COSTA (2005), a minimização de ameaças a deslizamento de terra nos Estados Unidos é apoiada em 3 pilares:

- Criar medidas de caráter restritivo ao desenvolvimento de regiões propensas a escorregamentos (função auxiliada pelo mapeamento de áreas sujeitas a riscos);
- Exigir que as atividades antrópicas (movimentações de terra, paisagismos e edificação), não induzam a instabilidade da área (criação de código de edificações);
- Proteger pessoas e propriedades nas áreas já ocupadas ou em desenvolvimento através da execução de ações físicas de controle como drenagem, alteração na geometria de taludes e barreiras de proteção (as vezes complementada por sistemas de monitoramento e alerta).

As duas primeiras alternativas são características de ações não estruturais e a última de ações estruturais.

As ações não estruturais são medidas que procuram atuar na prevenção e conscientização, procurando agir quase sempre antes que o risco aconteça de fato. De acordo com Gobbi et al. (2008), são apoiadas em atitudes institucionais e de

relacionamento onde são envolvidos: o estado (com seus órgãos responsáveis) e a população afetada, para que as medidas não estruturais planejadas (que são abrangentes e de fundamental importância) sejam colocadas em exercício.

Em cidades e municípios, a maioria das técnicas adotadas nas ações não estruturais para a redução de risco passa por medidas administrativas dos governos (medidas restritivas e códigos específicos). Assim, não é necessário o aporte de grandes quantias em dinheiro para que medidas efetivas para redução de risco sejam adotadas. Com relação a eficiência dessas ações, percebemos que precisa passar pela conscientização da população envolvida. Para isto a comunidade precisa ser incluída no processo, pois inclusive pode ajudar nos trabalhos. Normalmente se executam palestras onde engenheiros, sociólogos, arquitetos e outros profissionais participam (BERTUOL, 2013).

Mendonça et al. (2008) afirmam: as ações não estruturais possuem importância equivalente ou superior às ações estruturais. Os autores comentam o plano de ações para a redução de riscos sugerido para a cidade de Teresópolis, Rio de Janeiro, em regiões já ocupadas, sintetizando a questão através das seguintes propostas, na sua grande maioria não estruturais:

- Conscientizar a população da existência do problema, das ações nocivas à estabilidade de encostas, dos sinais de iminência - ameaça - de um processo de instabilização, das medidas preventivas e corretivas e o caráter coletivo do problema;
- Manutenção dos sistemas de drenagem e cursos d'água naturais;
- Coleta de resíduos sólidos urbanos em assentamentos precários sistemas específicos);
- Avaliação de locais de deságue (sistemas pluviais e sanitários);
- Projeto de saneamento básico (nas comunidades que estejam inseridas em zonas de risco);
- Definição de normas e fiscalização intensiva para ocupação e uso do solo;
- Implantação de sistema de alerta;
- Criação de um órgão municipal de gerência de riscos naturais;

- Atualização do Plano Municipal de Redução de Riscos (PMRR).

O pesquisador complementa ainda que ações não estruturais não impedem que um deslizamento ocorra, elas partem do princípio de que a atuação preventiva pode atenuar ou reduzir as consequências das ameaças, permitindo a tomada de medidas tanto a nível legal (elaborando e fiscalizando as leis de ocupação do solo), como operacionais (instituindo e treinando a população em planos de emergência e evacuação).

Em contrapartida às ações não estruturais, ações estruturais atuam após a ocorrência do evento indesejado ou, para que se evite que um desastre aconteça, e correspondem quase sempre em implantações de obras de engenharia com caráter preventivo/corretivo. Costa (2005) aborda a questão sobre a seguinte perspectiva: a ocupação de encostas sujeitas a rupturas continuará, e para isso, os programas de planejamento do uso do solo devem conter as intervenções físicas para a proteção de bens e vidas. O autor define os controles físicos de instabilidade de encostas como sendo: drenagem (construção), modificações na geometria de taludes e contenções.

O alto custo constitui a principal desvantagem das ações estruturais. Por esta razão sua aplicabilidade é restrita, e normalmente empregada onde os custos com os danos (prejuízos), tanto financeiro quanto humano, são elevados. Ou seja, deve ser priorizado o emprego em locais com alta densidade populacional e/ou elevado valor de propriedades (BERTUOL, 2013). Olhando para o contexto de obras lineares, devem ser levados em conta o tempo de paralisação do tráfego de veículos/trens, como também o tempo de interdição no local de atuação.

2.3.3 Gerenciamento de risco geotécnico em obras lineares

No estudo realizado por Kelly et al. (2005) na malha rodoviária de Saskatchewan, no Canadá, é mostrada a aplicação de um sistema de gerenciamento de risco baseado em um vasto histórico de investigações geotécnicas desde os anos 60. Conforme comentado pelos autores, as práticas modernas de gerenciamento de deslizamentos precisam ter a capacidade de:

- Fazer uma avaliação do grau de periculosidade intrínseco de um determinado ponto;
- Avaliar a necessidade de um determinado ponto ter monitoramento e inspeções continuados;
- Garantir a segurança dos interesses públicos através da emissão de sinais de alerta e de emergência;
- Determinar a ordem de investimentos financeiros (priorização de ações).

Stewart e Buys (2005) discutem que enquanto planos de gerenciamento de risco específicos são aplicáveis a taludes sob monitoramento ou de alto risco, planos de gerenciamento de riscos genéricos podem ser usados em pontos de menor risco, onde apenas um plano de inspeção é necessário. Esses autores pontuam algumas questões fundamentais para que os planos de gerenciamento obtenham sucesso, dentre elas:

- a) Gerenciamento de informações: tendo em mãos os riscos já identificados, há a constante necessidade de gerir e manipular essas informações a fim de comparar os diferentes graus de risco atribuídos aos locais mapeados, com o objetivo final de definir prioridades de intervenção. Quando há um pequeno número de taludes a ser observado o trabalho é simplificado, contudo se existem centenas ou milhares de taludes que necessitam de atenção é preciso utilizar sistema de gerenciamento de informações, aonde se guardará todas as informações fundamentais de cada ponto, sendo elas: informações georreferenciadas, sínteses da análise de risco, fotografias, protocolo de inspeção, monitoramento e manutenção, relatórios correlatos e, informações sobre o histórico de inspeções.
- b) Aplicação de medidas de remediação: é uma escolha natural para aumentar a segurança em longo prazo de taludes classificados como de alto risco. Contudo, frente à grande necessidade de recursos e tempo para realizar intervenções em um talude grande, complexo e de alto risco, pode ser mais efetivo intervir em vários taludes simples e de menor risco, enquanto as definições necessárias ao tratamento daquele são executados.
- c) Processo de tomada de decisão: remediar o talude com uma medida efetiva ou gerencia-lo de alguma forma alternativa, eis a questão. Essa decisão é

complexa e será influenciada pelos seguintes fatores: a magnitude e a natureza do risco, disponibilidade de tempo e recursos para aplicação de uma solução alternativa e os custos e benefícios os quais podem incluir alteração no grau de risco do talude, o custo de vidas e custos de operação da rodovia. De qualquer maneira, há um grau de incertezas envolvido em todas estas variáveis, porém todos os impactos das soluções devem ser completamente dominados e os custos de implementação serem os mais realistas possíveis. Como recomendação geral, os autores recomendam que os recursos devam ser concentrados em áreas onde os danos por escolhas erradas são maiores.

- d) Atualização da base de dados: ação determinante para a implantação/manutenção do inventário, pois é muito importante preservar o histórico de intervenções e ocorrências de um determinado local. Frequentemente, devido a implantação de obras, há a necessidade de revisar o risco inicialmente atribuído ao que existia no cadastro inicial, como também manter a metodologia de análise de risco sobre revisão constante.

De posse dos dados levantados em campo e após as análises necessárias, percebe-se que uma determinada região possui diversos locais em situação de risco variado e, em alguns casos, regiões com o mesmo grau de risco. Como é de conhecimento público, os municípios brasileiros, de um modo geral, têm recursos limitados, gerando a necessidade da criação de um sistema de priorização das ações e regiões que vão receber primeiramente os recursos. Em rodovias, do mesmo modo, há a necessidade de definir um plano de enfrentamento dos trechos apontados nos mapeamentos como demandantes de intervenção. Este plano, também chamado de priorização de ações, permite um uso dos recursos de forma mais racional, o que reduz acidentes e eventuais fechamentos de rodovias, BERTUOL (2013).

Kelly et al. (2005), afirma que para um bom gerenciamento de deslizamentos em rodovias, é preciso que a metodologia de mapeamento aplicada demonstre os locais onde é necessário investir recursos financeiros e esforços, na medida correta, correspondente ao nível de perigo e às potenciais consequências, com base em avaliações de risco. Já Stewart e Buys (2005) afirmam que a priorização de ações, segundo o grau de risco, pode não ser necessariamente a mais apropriada, se

centenas de taludes tiverem que receber intervenções (visto que haverá, certamente, restrições orçamentárias ao se remediar centenas de pontos). Portanto, algumas recomendações são feitas no sentido de saber quando parar, pois, o objetivo é reduzir e manter o risco em um nível aceitável e não eliminar completamente o risco geotécnico.

2.3.4 Movimentos de Massa e Fatores Condicionantes

Os movimentos gravitacionais de massas, são fenômenos que frequentemente originam desastres ou catástrofes traduzidas por perdas econômicas e humanas (CARVALHO, 2015).

Existem na bibliografia diversas definições para movimentos de massas, Brusden (1984), Crozier (1986), Hutchinson (1988), Courture (2011). A mais utilizada nos trabalhos pesquisados, apesar de bastante simples, é a de Varnes (1984), e Cruden e Varnes (1996) que define o movimento de massa como uma massa de rocha, detritos ou terras no sentido da base de uma encosta.

O objetivo desse item é apresentar uma breve revisão sobre os processos de movimentos de massa, abordando a classificação dos diferentes tipos, os agentes e causas e os condicionantes destes processos, uma vez que nesse trabalho analisa-se a suscetibilidade de ocorrência dos mesmos ao longo da EFVM.

2.3.4.1 Classificação dos Movimentos de Massa

Pesquisando referências internacionais e nacionais, percebe-se que existem vários tipos de movimentos de massa, sendo os mais clássicos: os deslizamentos (planares, circulares e em cunhas), corridas, rastejos e quedas (tombamentos e rolamento). Não há na literatura um consenso sobre a classificação, porém referências clássicas como Varnes (1978) e Cruden e Varnes (1996) são muitas vezes citadas. Estas referências classificam os movimentos gravitacionais em 6 tipos: Quedas, Tombamentos, Deslizamentos (rotacional e planar), Espraimento ou Escoamento, Corridas (também

conhecidas como fluxos de detritos) e Compósitos ou Complexos (uma combinação dos anteriores).

A classificação proposta por Varnes (1978), devido a sua simplicidade, é ainda hoje uma das mais utilizadas no meio acadêmico. Ela se baseia no tipo de movimento e no tipo de material transportado, conforme figura 10.

Figura 10 – Classificação simplificada de movimentos de massa

Tipo de Movimento		Tipo de Material	
		Rocha	Solos
			Predominantemente grosso Predominantemente fino
Quedas (<u>falls</u>)		Queda de blocos	Queda de detritos Queda de solo
Tombamento (<u>toppling</u>)		De rocha	De detritos De solo
Deslizamento (<u>Slides</u>)	Rotacional	De rocha	De detritos De solo
	Translacional	De rocha	De detritos De solo
Expansões laterais (<u>Spreads</u>)		De rocha	De detritos De solo
Corridas (<u>flows</u>)		Rastejo de rochas (<u>creep</u>)	<u>Rastejos</u> e corridas
Complexo		Resultam da combinação de dois ou mais tipos de movimentos	

Fonte: Modificado de Varnes (1978).

De acordo com Cruden e Varnes (1996), o termo deslizamento descreve uma ampla variedade de processos que resultam na movimentação, descendente e ao longo da transversal dos materiais de formação de uma encosta, incluindo rocha, solo, preenchimento artificial, ou uma combinação destes, sob a ação da gravidade. Os materiais podem se movimentar ou cair, derrubando, deslizando, espalhando ou fluindo quando a tensão cisalhante atuante é maior do que a tensão resistente da massa deslizante. Além disso, aprimoraram a classificação de Varnes (1984) na

conceituação dos tipos de escorregamento, no qual os seus conceitos são descritos a seguir:

- Queda de blocos (falls): definem-se como movimentos abruptos de volumes de rocha ou solo, detritos ou terras que se desprendem de encostas íngremes ou de escarpas, caindo e muito frequentemente ressaltando e rolando pelas encostas. Esse tipo de movimento de massa é favorecido pela alteração do maciço, presença de descontinuidades, peso dos blocos e presença de água em descontinuidades abertas;
- Tombamento (toppling): consistem na rotação de uma massa ou bloco em torno de um alinhamento ou de um ponto situados na base ou abaixo do bloco, no sentido da encosta, sob ação da gravidade. Esse movimento pode ser ocasionado por forças exercidas por blocos adjacentes, pela pressão exercida pela água nas fraturas ou também por dobras em maciços estratificados.
- Deslizamentos ou Escorregamentos (slides): são movimentos de massas onde verifica-se a ocorrência de uma superfície de fraqueza separando o material escorregado do material subjacente, designada por uma superfície de deslizamento ao longo da qual se deu o movimento. Ainda segundo os autores, as ocorrências desses movimentos estão relacionadas à resistência ao cisalhamento do material e a tensão de cisalhamento na superfície potencial de ruptura decresce, resultando no movimento descendente de massa com um volume bem definido, de caráter rápido e com duração relativamente curta. Normalmente o aumento da saturação do solo provoca a diminuição ou perda total do atrito entre as partículas do solo e o deixa mais susceptível ao deslizamento. Podem ser classificados como: Rotacionais, quando associados a solos mais homogêneos, argilosos e moles, e os movimentos ocorrem em forma de cunha, ou como: Translacionais, quando ocorre em solos pouco espessos, em rochas ou na superfície de separação de ambos, no sentido paralelo à superfície de fraqueza e/ou descontinuidades.
- Expansão Lateral (lateral spreads): pode ocorrer em situações de declividade suave ou mesmo plana. Trata-se de um deslocamento lateral de blocos formados devido à ocorrência de fraturas resultantes de esforços de tração ou ocasionados pelo fenômeno de liquefação do material subjacente em função de sismos. Esses materiais geralmente são não coesivos (constituído por silte

e/ou areia), saturado e que se liquefaz devido ao aumento da pressão intersticial resultante das tensões de corte cíclicas associadas ao sismo.

- Fluxo ou Escoamento (flows): é o movimento da massa de solo que ocorre de forma similar à de fluidos viscosos. Podem ocorrer em forma de rastejo, se caracterizando por movimentos lentos e contínuos de material de encostas, provocados pela ação da gravidade. Também ocorrem por efeitos de variações de temperatura e umidade. Na forma de Corridas, caracterizando-se por formas mais rápidas de escoamento, de caráter hidrodinâmico e ocasionada pela diminuição de atrito interno entre as partículas em virtude do excesso de água. Neste caso, a massa deslocada pode atingir grandes distâncias com extrema rapidez, mesmo em áreas pouco inclinadas;
- Complexos (complex movements): constituem na combinação de dois ou mais tipos de movimentos, tais como deslizamentos com queda de blocos, fluxos de terra e detritos, com um alto poder destrutivo em pouco tempo.

2.3.4.2 Fatores Condicionantes dos Movimentos de Massa

Os fatores envolvidos na instabilidade das encostas são bem conhecidos atualmente. Como explica Terzaghi (1950), estes fatores podem ser divididos em fatores internos e fatores externos:

- Externos: são devidas a ações externas que alteram o estado de tensão atuante sobre o maciço, sejam eles antrópicos ou naturais. Esta alteração resulta num acréscimo das tensões cisalhantes que igualando ou superando a resistência intrínseca do solo leva o maciço a condição de ruptura, como o aumento da inclinação do talude, a deposição de material ao longo da crista do talude, erosão por vento e/ou chuva e até mesmo efeitos sísmicos, entre outros.
- Internos: são fatores intrínsecos ou naturais do talude, que atuam reduzindo a resistência ao cisalhamento do solo, sem ferir o seu aspecto geométrico visível, como o aumento da pressão na água intersticial e o decréscimo da coesão, intemperismo, entre outros.

Segundo Varnes (1978) as causas básicas da instabilidade de vertentes, inclusive dos escorregamentos, são bem conhecidas. O que se procura sempre é alcançar, por

meio do entendimento dos processos envolvidos, respostas às questões: por que ocorrem os escorregamentos, quando, onde e quais são seus mecanismos, permitindo a predição da suscetibilidade.

Conforme descrito na ABNT NBR 11682:1991 - Estabilidade de Taludes, os principais processos indutores de instabilidade são os erosivos e de liquefação dos solos. Os processos mais comuns que envolvem liquefação são: transporte de materiais viscosos, deslocamento de solos saturados, e remoção das capas de solo residual, situadas no topo de encostas íngremes.

Os fatores condicionantes dos escorregamentos correspondem principalmente aos elementos do meio físico e, secundariamente, do meio biótico, os quais contribuem para o desencadeamento do processo. Os movimentos de massa podem ser desencadeados por agentes distintos, denominados de agentes predisponentes ao meio natural, e agentes efetivos. Contudo, a ação humana exerce importante influencia favorecendo a ocorrência de processos ou minimizando seus efeitos (GUIDICINI; NIEBLE, 1984).

Costa (2005) explica que há muitas variáveis envolvidas na instabilidade de taludes naturais e artificiais, tais como: materiais, clima, geologia, velocidade e extensão da ruptura. IG (2009) comenta que o movimento de massa é parte integrante do processo evolutivo geomorfológico natural das regiões serranas. Quando a ocupação humana utiliza áreas inseridas nesta dinâmica, dispensando o planejamento do solo e da boa prática de Engenharia, se configuram as condições para que ocorram tragédias humanas.

Guidicini e Niebli (1984) definiram os condicionantes dos processos de movimentos de massa como causas e agentes. Dentre os agentes, os pesquisadores fizeram distinção entre agentes predisponentes e efetivos preparatórios e imediatos, e subdividiram as causas em internas, externas e intermediárias, apresentados na figura 11. Rodrigues Carvalho (2015) comenta, como exemplo, que a água é um agente, no entanto, a causa que lhe está associada depende de como ela atua, podendo traduzir-

se por erosão, diminuição da coesão, aumento do peso dos terrenos, aumento das pressões intersticiais, entre outros.

Figura 11 – Agentes e causas dos escorregamentos e processos correlatos

AGENTES/CAUSAS DOS ESCORREGAMENTOS			
AGENTES	Predisponentes	Complexo geológico, complexo morfológico, complexo climático-hidrológico, gravidade, calor solar, tipo de vegetação original.	
	Efetivos	Preparatórios	Pluviosidade, erosão pela água e vento, congelamento e degelo, variação de temperatura, dissolução química, ação de fontes e mananciais, oscilação de níveis de lagos e marés e do lençol freático, ação de animais e humana, inclusive desmatamentos.
		Imediatos	Chuvas intensas, fusão do gelo e neve, erosão, terremotos, ondas, vento, ação do homem.
CAUSAS	Internas	Efeitos das oscilações térmicas; Redução dos parâmetros de resistência por intemperismo.	
	Externas	Mudanças na geometria do sistema; Mudanças naturais na inclinação das camadas. Efeitos de vibrações;	
	Intermediárias	Elevação do nível piezométrico em massas "homogêneas"; Elevação da coluna d'água em discontinuidades; Rebaixamento rápido do lençol freático; Erosão subterrânea <u>retrogressiva</u> (<i>piping</i>); Diminuição do efeito de coesão aparente.	

Fonte: Adaptado de Gudicini e Nieble (1984).

Ainda de acordo com os pesquisadores, os agentes predisponentes referem-se ao conjunto de condições geológicas, topográficas e ambientais da área onde se desenvolve o movimento de massa. São, portanto, as condições naturais dadas pelas características intrínsecas dos materiais, sem a ação do homem. Já os agentes efetivos são aqueles diretamente responsáveis pelo desencadeamento do movimento de massa, incluindo-se a ação humana. Podem se tratar também de agentes efetivos imediatos como: chuva intensa, erosão, terremotos, ondas, vento, interferência do homem etc. Podem ser agentes efetivos preparatórios como: pluviosidade, erosão

pela água ou vento, oscilação de nível dos lagos e marés e do lençol freático, ação de animais e ação humana como desmatamento, entre outros.

Tominaga et al. (2015) afirmam que a pluviosidade é um agente condicionante nos escorregamentos. Além disso, citam a pesquisa de Tatizana et al. (1987), em que estabeleceram uma correlação numérica entre a chuva acumulada ocasionando a saturação do solo e as precipitações horárias que provocam os escorregamentos. Os pesquisadores consideraram que as chuvas acumuladas em quatro dias seriam as mais efetivas na preparação do terreno ao processo de escorregamento, devido à redução da resistência ao cisalhamento e aumento das forças solicitantes. Para Tavares et al. (2004), a maior parte das ocorrências de movimentos de massa, em torno de 70%, foi registrada com chuva acumulada igual ou superior a 120 mm em 72 horas.

Nas regiões tropicais as estações chuvosas, especialmente as precipitações intensas, são um grande desencadeador de movimentos de massa, que algumas vezes são catastróficos. Na bibliografia existe um vasto material indicando que um importante agente deflagrador da instabilidade de encostas é, sem dúvida, a ação humana. Muitos autores definem que o agente antrópico é um importante modificador da dinâmica natural do relevo, sendo que um grande número de escorregamentos está associado a cortes para a construção de moradias precárias em encostas íngremes, IG (2009).

De acordo com Carvalho (1991), os principais problemas de estabilidade de taludes que impactam a malha rodoviária do estado de São Paulo são a erosão, a desagregação superficial, o escorregamento em corte, o escorregamento em aterro, o recalque em aterro, a queda de blocos e o rolamento de blocos. Foram, ainda, identificadas suas formas de ocorrência, bem como seus principais causadores. A classificação encontra-se na figura 12.

Figura 12 – Principais problemas de estabilidade em taludes em rodovias do Estado de São Paulo

TIPO DE PROBLEMA	FORMA DE OCORRÊNCIA	PRINCIPAIS CAUSAS
EROSÃO	Em taludes de corte e aterro (em sulcos e diferenciada)	Deficiência de drenagem, Deficiência de proteção superficial
	Longitudinal ao longo da plataforma	Concentração de água superficial
	Localizada e associada a obras de drenagem (ravinas e voçorocas)	Concentração de água superficial e/ou interceptação do lençol freático
	Interna em aterros (piping)	Deficiência ou inexistência de drenagem interna
DESAGREGAÇÃO SUPERFICIAL	Empastilhamento superficial em taludes de corte	Secagem e umedecimento do material. Presença de argilo-mineral expansivo ou desconfinamento do material
ESCORREGAMENTO EM CORTE	Superficial Profundo	Inclinação acentuada do talude, Relevo enérgico
	Forma e dimensões variadas	Descontinuidade do solo e rocha
	Superficiais em corte ou encostas naturais. Profundo em cortes	Saturação do solo
	Formas e dimensões variadas. Movimentação de grandes dimensões e generalizada em corpo de talus	Evolução por erosão. Corte de corpo de talus. Alteração de drenagem
ESCORREGAMENTO EM ATERRO	Atingindo a borda do aterro	Compactação inadequada da borda
	Atingindo o corpo do aterro	Deficiência de fundação
		Deficiência de drenagem
		Deficiência de proteção superficial
		Má qualidade do material
		Compactação inadequada
		Inclinação inadequada do talude
RECALQUE EM ATERRO	Deformação vertical da plataforma	Deficiência de fundação
		Deficiência de drenagem
		Rompimento de bueiro
		Compactação inadequada
QUEDA DE BLOCOS	Geralmente em queda livre	Ação de água e de raízes nas descontinuidades do maciço rochoso
ROLAMENTO DE BLOCOS	Movimento de bloco por rolamento no corte ou encosta	Descalçamento da base por erosão

Fonte: Modificado de Carvalho (1991).

Fazendo um paralelo para ferrovias, os problemas enfrentados são basicamente os mesmos, em boa parte, consequentes da elaboração equivocada de projetos de terraplenagem (concebidos em concordância com diagnósticos deficientes ou, por erros em seu desenvolvimento), da execução inadequada do projeto (por vezes, devido à falta de fiscalização in loco da obra) e também da adoção de rotinas

insuficientes de manutenção/conservação das faces e drenagens dos taludes. O cenário se agrava quando esses fatores se encontram associados a condições climáticas que favorecem os processos de instabilização (NETTO, 2016).

Alves (2012), em estudo apresentado sobre monitoramento de encostas na malha ferroviária da empresa MRS, aborda que a causa principal de falhas de infraestrutura por deslizamento de terras ao longo da ferrovia estudada se deu por ausência ou inadequação dos sistemas de drenagem, bem como a falta de manutenção destes.

2.4 MÉTODOS MULTICRITÉRIOS DE APOIO A DECISÃO

Decidir é tomar uma posição em relação ao futuro. De acordo com Gomes et al. (2002) a decisão é o processo de colher informações, atribuir importância a elas, buscar possíveis alternativas de solução e, posteriormente, realizar a escolha entre as alternativas.

Costa e Belderrain (2009) afirmam que os Métodos de Multicritério de Apoio a Decisão (MMAD) não substituem o papel do decisor, mas constituem-se de ferramentas que fornecem um embasamento capaz de direcionar para a melhor decisão a partir de alternativas conhecidas e resultados esperados. Porém uma dificuldade natural enfrentada surge quando o processo é analisado por um grupo de pessoas, ou um comitê, tal que a pluralidade de opiniões e poderes de persuasão poderá gerar uma situação de conflito entre a equipe.

Os MMAD compreendem técnicas que podem ser utilizadas para: (a) identificar a melhor opção de escolha; (b) ordenar as opções; (c) listar um número limitado de alternativas para uma subsequente avaliação detalhada, ou; (d) simplesmente distinguir as possibilidades aceitáveis das inaceitáveis (VILAS BOAS, 2006).

Dentre os MMAD que já foram utilizados com sucessos em diversos estudos, Salomon et al. (1999) e Abreu et al. (2000) destacam os principais:

- Método de Análise do Processo Hierárquico (AHP), proposto por SAATY (1987);

- TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), proposto por Hwang e Yoon (1981);
- Abordagem de Decisão Fuzzy (Fuzzy Decision Approach – FDA) proposta em Liang e Wang (1991);
- MACBETH (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique) proposto por Bana, Costa e Vasnick (1994);
- Método de Análise em redes (Analytic Network Process – ANP), também desenvolvido por Saaty (1996);
- MAHP (Multiplicative AHP), proposto por Lootsma (1993) apud Guglielmetti et al. (2003).

O método AHP baseia-se na capacidade humana de usar a informação e a experiência para estimar magnitudes relativas através de comparações par a par (VILAS BOAS, 2006). Têm como princípio fundamental que para a tomada de decisões, a experiência e o conhecimento das pessoas são pelo menos tão valiosos quanto os dados utilizados (SCHMIDT, 1995).

Steinguer et al. (2005), escolheram o método AHP para o desenvolvimento de seus projetos por ter o maior conjunto de atributos desejáveis que pode ser aplicado nas seguintes características:

- É um processo quantitativo de decisão estruturado que pode ser documentado e replicado;
- Aplicado em decisões envolvendo multicritérios;
- Aplicado na decisão de situações que envolvem julgamentos subjetivos;
- Utiliza dados tanto qualitativos, quanto quantitativos;
- Fornece medidas de consistência de preferência;
- Possui um software apropriado com suporte técnico e educacional;
- Adequado a grupos de tomada de decisão.

Diante da variedade de métodos multicritérios de apoio a decisão existentes e da multiplicidade de características inerentes a cada um, se faz necessário selecionar aquele que melhor se adeque a este trabalho. Devido a isso, o Processo de Análise

Hierárquica (Método Analytic Hierarchy Process – AHP) foi o MMAD escolhido para ser utilizado nessa pesquisa.

2.4.1 Processo de Análise Hierárquica (AHP)

O AHP foi desenvolvido na década de 70 por Thomas L. Saaty com o objetivo de apoiar problemas de tomada de decisão de múltiplos critérios. Por ser uma teoria geral da medição e decisão, esse método é utilizado para derivar escalas de razão de ambas as comparações pareadas discretas e contínuas. Essas comparações podem ser tomadas com o intuito de que reflita a força relativa entre as variáveis de acordo com as preferências e sentimentos do julgador (SAATY, 1990).

De acordo com Vargas (1990) a aplicação do AHP pode ser dividida em três fases: a decomposição do problema de decisão, avaliação comparativa dos elementos e síntese de prioridades.

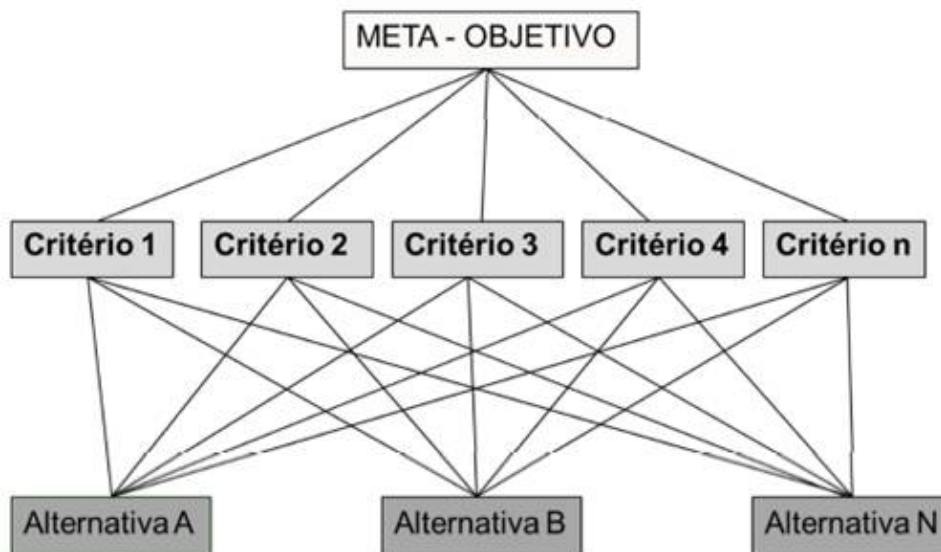
A primeira fase é a de estruturação, que envolve a decomposição do problema em uma estrutura hierárquica mostrando as relações entre metas, critérios e alternativas que envolvem a decisão. A estrutura hierárquica forma uma árvore investida, cuja estrutura vai descendo da meta da decisão para os critérios, subcritérios e alternativas, em sucessivos níveis (SAATY, 1990).

A segunda fase é a de avaliação que se caracteriza pela definição do tipo de problema a ser adotado, determinando se as ações serão analisadas em termos relativos ou absolutos; ordenadas ou escolhidas; aceitas ou rejeitadas (SCHMIDT, 1995). Nessa etapa ocorre à comparação paritária (par a par) entre os critérios e alternativas. Por meio desta comparação são determinadas as importâncias relativas (pesos) de cada critério por meio de uma matriz quadrada $n \times n$.

A terceira fase, portanto, consta da determinação da contribuição de cada critério no objetivo organizacional, e é calculado a partir do vetor de prioridade.

Da mesma forma, Tchemra (2009) mostra que o método propõe ao decisor que o problema seja decomposto em partes e representando os níveis hierárquicos. Conforme exposto na figura 13, o nível mais alto da estrutura é definido o objetivo da decisão, seguindo pelos critérios, subcritérios e finalizando com as alternativas.

Figura 13 – Exemplo de estrutura hierárquica



Fonte: Modificado de Saaty (1990).

2.4.2 Julgamentos Paritários

A contribuição básica do método AHP é de poder classificar as variáveis a partir de uma escala padrão e realizar as operações aritméticas subsequentes a partir dos julgamentos paritários. O decisor deverá julgar de acordo com a intensidade de importância de cada critério em relação ao outro, sendo que cada critério poderá subdividir em subcritérios e também realizar os julgamentos entre critérios e alternativas (SAATY 1990).

Costa e Belderrain (2009) mostram que as preferências estipuladas são organizadas nas chamadas matrizes de decisão. Os elementos dessa matriz definem a quantidade de vezes que um critério é mais ou menos importante que os demais. A escala recomendada por Saaty (1990) vai de 1 a 9, com 1 significando a indiferença de importância de um critério em relação ao outro, e 9 significando a extrema importância

de um critério sobre o outro. Os demais estágios intermediários de importância estão entre esses extremos, conforme figura 14.

Figura 14 – Escala de julgamento de importância do Método AHP

Valores numéricos de intensidade	Definição da importância	Explicação
1	Igual importância	As duas variáveis ou atividades contribuem igualmente ao objetivo
3	Moderadamente mais importante	Experiência e julgamento favorecem moderadamente uma sob a outra
5	Fortemente mais importante	Experiência e julgamento favorecem fortemente uma sob a outra
7	Muito fortemente mais importante	Alternativa fortemente favorecida em relação a outra e sua dominância é demonstrada na prática
9	Extremamente mais importante	A evidência favorece uma alternativa em relação a outra, com grau de certeza mais elevado
2, 4, 6 e 8	Valores intermediários entre dois julgamentos adjacentes	Quando se procura uma condição intermediária entre duas definições.

Fonte: Adaptado de Saaty (1990).

De acordo com Quadros (2014) cabe destacar que o elemento mais importante da comparação é sempre usado como um valor inteiro da escala, e o menos importante, como o inverso dessa unidade. Se o elemento linha é menos importante que o elemento coluna da matriz, registra-se com o valor recíproco na posição correspondente da matriz ou vice-versa.

Os julgamentos entre os critérios, exposto na figura 15, definem a matriz paritária, em que para n critérios de um nível serão necessárias $n(n-1)/2$ comparações.

Figura 15 – Matriz de julgamento entre os critérios

Critérios	C1	C2	Cn
C1	1	C12	C1n
C2	1/C12	1	C2n
Cn	1/C1n	1/C2n	1

Fonte: Adaptado de Saaty (1990).

De acordo com Saaty (2008), os elementos da matriz de comparação paritária devem ser positivos e a matriz de comparação deverá atender as três propriedades descritas a seguir:

- Identidade: todos os elementos na diagonal são iguais a 1, ou seja, para todo i , é necessário que $C_{ii} = 1$. Portanto, a diagonal representa cada elemento comparado a si mesmo, ou seja, de igual importância;
- Reciprocidade: cada elemento acima da diagonal da matriz de comparação paritária é igual ao inverso do elemento correspondente, situado abaixo da diagonal, isto é, $C_{ij} = 1/C_{ji}$;
- Consistência ou coerência: a matriz de comparações paritárias deve satisfazer a propriedade de transitividade. Significa que na comparação de três critérios: se C1 é preferível a C2 e C2 é preferível a C3; consequentemente C1 é preferível a C3. Se o julgamento for diferente, ou seja, C3 é preferível a C1 ou C3 é igual a C1, o decisor foi incoerente. Logo, a consistência ou coerência está relacionada com a racionalidade do julgamento.

Vargas (2010) comenta que para se definir os pesos entre cada critério, a matriz de comparação paritária é submetida a uma técnica matemática denominada como “autovetor”, que segundo Saaty (1990) consiste em três etapas básicas:

- Soma total dos elementos de cada coluna da matriz de comparação paritária (figura 16);

Figura 16 – Critérios avaliados com seus respectivos pesos

Critérios	C1	C2	Cn
C1	1	C12	C1n
C2	1/C12	1	C2n
Cn	1/C1n	1/C2n	1
SOMA	$\Sigma C1 = 1 + (1/C12) + (1/C1n)$	$\Sigma C2 = C12 + 1 + (1/C2n)$	$\Sigma Cn = C1n + C2n + 1$

Fonte: Adaptado de Saaty (1990).

- A normalização relativa dos pesos ocorre por meio da divisão de cada elemento da matriz pela soma total da sua respectiva coluna, conforme mostrado na figura 17. Após isso, a soma final de cada coluna obrigatoriamente deverá ter valor igual a 1;

Figura 17 – Normalização relativa dos pesos

Critérios	C1	C2	Cn
C1	$1 / \Sigma C1$	$C12 / \Sigma C2$	$C1n / \Sigma Cn$
C2	$(1/C12) / \Sigma C1$	$1 / \Sigma C2$	$C2n / \Sigma Cn$
Cn	$(1/C1n) / \Sigma C1$	$(1/C2n) / \Sigma C2$	$1 / \Sigma Cn$
SOMA	1	1	1

Fonte: Adaptado de Saaty (1990).

- Cálculo da média aritmética de cada linha da matriz, gerando o “autovetor” ou “vetor de prioridades” (figura 18);

Figura 18 – Matriz com os autovetores

Crítérios	C1	C2	C_n	Soma das linhas	Autovetor (%)
C1	$1 / \Sigma C1$	$C12 / \Sigma C2$	$C1n / \Sigma Cn$	$\Sigma C1i$	$\Sigma C1i / 3$
C2	$(1/C12) / \Sigma C1$	$1 / \Sigma C2$	$C2n / \Sigma Cn$	$\Sigma C2i$	$\Sigma C2i / 3$
C_n	$(1/C1n) / \Sigma C1$	$(1/C2n) / \Sigma C2$	$1 / \Sigma Cn$	ΣCni	$\Sigma Cni / 3$
SOMA	1	1	1	3	100%

Fonte: Adaptado de Saaty (1990).

Com os procedimentos de julgamentos semelhantes aos critérios, deve-se realizar as preferências pelas alternativas A em relação a cada critério C, conforme exposto na figura 19.

Figura 19 – Comparação paritária entre as alternativas para cada critério

Critério 1	A1	A2	...	A_n
A1	1			
A2		1		
...			1	
A_n				1

Fonte: Adaptado de Saaty (1990).

Com isso, é possível determinar a importância de cada critério T_i e também a preferência Z_i de cada alternativa em relação a cada critério, a fim de se obter o valor global A_x de cada alternativa:

$$A_x = Z_i \cdot T_i \quad (2)$$

Essa avaliação irá permitir determinar qual alternativa terá a maior prioridade e será recomendada como a melhor escolha.

2.4.3 Análise da Consistência dos Julgamentos

Medeiros Junior (2007) afirma que a análise de consistência ou também chamada de análise da sensibilidade é bastante útil para se verificar a robustez do modelo na definição dos julgamentos paritários.

Para a análise de sensibilidade Saaty (1990) propõe que:

- a) A condição necessária e suficiente para a consistência é que o “autovalor principal” $\lambda_{\text{máx}}$ seja igual ao número de linhas ou colunas da matriz de comparações paritárias. Sendo que o autovalor é calculado a partir da equação 3.

$$\lambda_{\text{máx}} = \sum T.W \quad (3)$$

tal que

T = autovetor normalizado;

W = soma das colunas de matriz de comparação.

- b) O índice de consistência (IC) de uma matriz de comparação paritária indica quanto o autovalor está afastado do valor teórico esperado n, logo esse desvio é dado pela expressão $(\lambda_{\text{máx}} - n)$. Essa diferença é medida em relação ao número de graus de liberdade da matriz (n-1), conforme a equação 4.

$$IC = (\lambda_{\text{máx}} - n) / (n - 1) \quad (4)$$

- c) A Razão de Consistência (RC) é a comparação entre o índice de consistência (IC) com o “índice de consistência aleatória” (CA) retirado da tabela 1. Esta razão é calculada a partir da equação 8 e representa o valor que seria obtido em uma matriz de comparações paritárias de ordem n em que não fossem realizados julgamentos lógicos, preenchendo os elementos com valores aleatórios.

$$RC = IC / CA \quad (5)$$

TABELA 1 – VALORES DE CA EM FUNÇÃO DA ORDEM DA MATRIZ

M	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CA	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fonte: Adaptado de Saaty (1990).

Os valores aceitáveis devem ser menores ou iguais a 0,10 (10%). Para valores maiores que 0,10, podem existir sérias inconsistências nos julgamentos e o resultado da aplicação do AHP pode ser considerado incoerente. Neste caso se torna prudente rever os julgamentos na matriz de comparação (SAATY, 1990).

2.4.4 Estudos anteriores utilizando o AHP na análise e hierarquização dos indicadores de suscetibilidade de deslizamentos

Neste item são apresentados exemplos de mapeamento, análise de suscetibilidade e risco aplicados em áreas com possíveis ocorrências de deslizamento de terra com a utilização do Método AHP.

2.4.4.1 Aplicação do método AHP na análise de risco da cidade de São Sebastião, SP (2011)

O método de mapeamento de perigo de escorregamentos em áreas urbanas mais utilizado no Brasil na época desta pesquisa era o adotado pelo Ministério das Cidades. Com a finalidade de torná-lo mais sistemático e diminuir o grau de subjetividade na comparação e hierarquização dos setores de perigo, porém sem modificar sua abordagem fundamental, Faria (2011) propôs incorporar o Processo de Análise Hierárquica (AHP) na análise dos indicadores. O intuito foi de aprimorar o método de mapeamento de perigo e de risco de escorregamentos utilizado, parametrizando os indicadores e diminuindo a subjetividade dos resultados encontrados.

A área definida para aplicação do método AHP foi o Município de São Sebastião, SP. Os escorregamentos que ocorrem nas encostas urbanas do município de São Sebastião, assim como em grande parte do Litoral Norte, estão relacionados a taludes

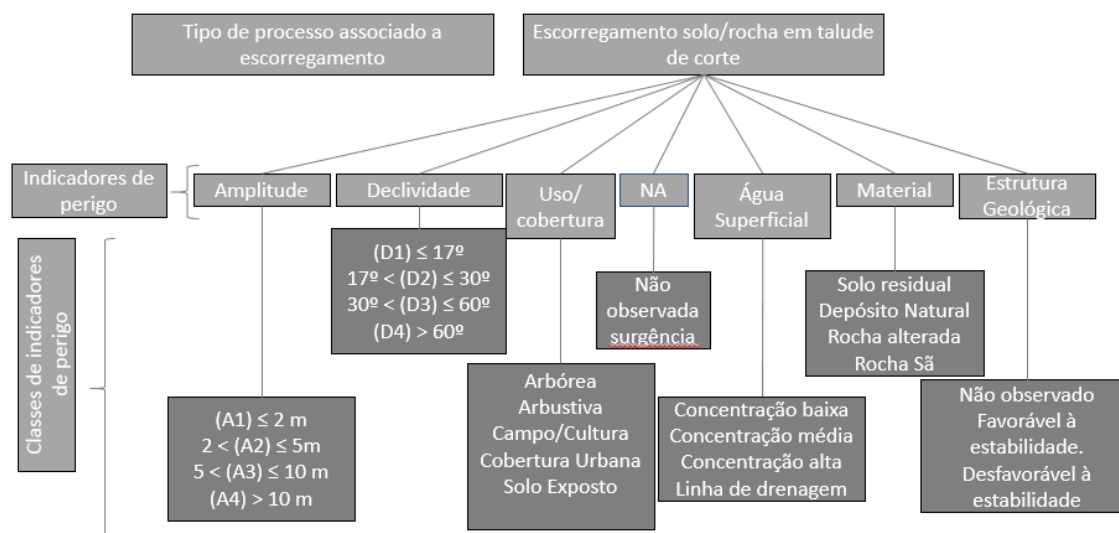
de corte e aterros na encosta. A estruturação das planilhas de aplicação do método AHP em taludes de corte foi estudada conforme tabela 2, com a apresentação dos condicionantes geológico-geotécnicos dos processos de escorregamentos denominados na pesquisa como indicadores de perigo e as respectivas classes conforme figura 20.

TABELA 2 – INDICADORES DE PERIGO E SEUS RESPETIVOS PESOS PARA TALUDES DE CORTE

Tipo de Encosta/Talude	Processos	Indicadores de perigo	Peso Correspondente
Corte	Escorregamento em solo/rocha	Amplitude (A)	0,1037
		Declividade (D)	0,2353
		Uso/cobertura	0,1086
		Nível d' água (NA)	0,2057
		Água Superficial	0,1200
		Material	0,1359
		Estrutura Geológica	0,0907

Fonte: Modificado de Faria (2011).

Figura 20 – Indicadores de Perigo e respectivas classes



Fonte: Modificado de Faria (2011).

Com a realização de um detalhado levantamento de campo para cada indicador de perigo, calcula-se índice de perigo (IP) para cada natureza de encosta e tipo de processo de escorregamento pela equação 6 de ponderação:

$$IP = p_i \cdot x_i / 100 \quad (6)$$

Tal que:

p_i = peso do condicionante do processo (indicador de perigo);

x_i = peso da classe do respectivo indicador de perigo.

O perigo para cada área mapeada será classificado em graus baixo, médio, alto e muito alto com base no IP calculado em cada setor. Essa etapa não faz parte dos procedimentos do Método AHP, mas visam complementá-los, associando a um método estatístico de fatiamento, determinado pela média aritmética (\bar{x}) somada ou diminuída da metade do desvio padrão (Δ), conforme apresentado na tabela 3.

TABELA 3 – CRITÉRIOS ADOTADOS PARA A CLASSIFICAÇÃO DO ÍNDICE DE PERIGO (IP)

Índice de Perigo	Grau de Perigo
$IP < \bar{X} - \frac{1}{2} \Delta$	Baixo
$\bar{X} - \frac{1}{2} \Delta < IP < \bar{X} + \frac{1}{2} \Delta$	Médio
$IP > \bar{X} + \frac{1}{2} \Delta$	Alto
Presença de feições de instabilidade expressivas	Muito alto

Fonte: Adaptado de Faria (2011).

As áreas mapeadas com presença de feições de instabilidade, serão automaticamente classificados como de perigo muito alto. Segundo o Ministério das Cidades (2007), feições de instabilidade refere-se a: trincas no terreno, muros e em moradias; árvores, postes e cercas inclinadas; degraus de abatimento e cicatrizes de escorregamentos.

Os resultados obtidos foram comparados ao mapeamento feito anteriormente pelo Instituto Geológico da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (IGSMA – SP, 2006), e indicaram que a metodologia testada se mostrou menos conservadora. Além disso, a incorporação de pesos na análise dos indicadores de perigo diminuiu a

subjetividade na classificação do perigo nos setores e aumentou a confiabilidade do resultado.

2.4.4.2 Mapeamento de suscetibilidade a deslizamento no Rio Grande do Sul, RS (2012)

Na região nordeste do Rio Grande do Sul ocorreram deslizamentos em dezembro de 2000 após chuvas intensas e concentradas, que geraram perdas e danos a pessoas e propriedades. Vanacôr e Rolim (2012) elaboraram um mapa de suscetibilidade a deslizamento, com o intuito de definir os locais mais críticos, auxiliar no planejamento da ocupação das encostas, subsidiar a adoção de medidas preventivas e corretivas em regiões a fim de aumentar a segurança da população.

Os procedimentos de análise foram aplicadas técnicas de interpretação de imagens através do SIG, fotografias aéreas em Modelo Digital do Terreno (MDT) e o Método AHP. As variáveis utilizadas como indicador de perigo, chamado pelo autor de fatores condicionantes, assim como os pesos de cada fator condicionante determinado com a aplicação do método AHP a partir da avaliação de especialistas locais, conforme explícito na tabela 4.

TABELA 4 – PESO DOS FATORES CONDICIONANTES DETERMINADO COM APLICAÇÃO MÉTODO AHP

Fatores condicionantes	Peso
Declividade	0,3438
Tipo de solo	0,1919
Uso do solo	0,1919
Distância de vias	0,0943
Distância de drenagem	0,0943
Elevação	0,0418
Orientação de vertentes	0,0418

Fonte: Vanacor e Rolim (2012).

Para definição dos pesos das classes, os pesquisadores utilizaram técnicas estatísticas bivariadas, baseada nas análises dos fatores que geraram deslizamentos no passado, ou seja, dividindo o número de ocorrências de cada classe pelo total de

ocorrências registradas no local. Posteriormente são feitas previsões para áreas de deslizamento, onde se observam condições similares.

Os pesquisadores concluíram que a técnica AHP, para inferência geográfica, apresentou resultados satisfatórios, demonstrando uma correlação alta de 60,61% entre deslizamentos em áreas de muito alta susceptibilidade (40 dos 66 movimentos de massa constantes no inventário estão em áreas de muito alta susceptibilidade) e 37,88% dos deslizamentos estão em áreas de alta susceptibilidade. Além disso, a técnica AHP apresentou resultados satisfatórios, pois foi possível diminuir a subjetividade do processo de atribuição de pesos para os fatores no mapa de susceptibilidade.

2.4.4.3 Mapeamento de suscetibilidade a deslizamento no Rio Grande do Sul, RS (2017)

O estudo realizado por Brito et al. (2017), apresentou a aplicação do AHP para mapear a suscetibilidade a escorregamentos no município de Porto Alegre, capital do Rio Grande do Sul. Uma abordagem guiada pelo conhecimento de especialistas foi utilizada, com o intuito de otimizar a utilização das informações disponíveis.

Os fatores condicionantes de escorregamento e seus respectivos pesos são apresentados tabela 5, e foram selecionados com o apoio de cinco pesquisadores acadêmicos que possuem grande experiência no campo de mapeamento de escorregamentos em Porto Alegre.

TABELA 5 – MATRIZ DE COMPARAÇÃO, PESOS DOS FATORES CONDICIONANTES E RAZÃO DE CONSISTÊNCIA

Fator condicionante	Inclinação	Litologia	Distância da linha	Fluxo	Peso
Gradiente de inclinação	1				0,5581
Litologia	1/3	1			0,2789
Distancia da linha	1/5	1/3	1		0,1130
Fluxo água acumulado	1/7	1/7	1/3	1	0,0501

RC = 0.05

Fonte: Brito et al. (2017).

A padronização desses fatores foi realizada por meio da aplicação de funções *fuzzy* e a importância relativa de cada um na predisposição do terreno a escorregamentos foi estabelecida com o apoio do AHP, com base no conhecimento de especialistas locais. Por fim, a integração dos fatores em ambiente SIG se deu por meio do método denominado Combinação Linear Ponderada (*Weighted Linear Combination – WLC*). Para validar os resultados, utilizou-se um mapa inventário contendo 107 cicatrizes de escorregamentos, registradas entre 2007 e 2013.

Os resultados indicaram que 8,2% (39,38 km²) da área de estudo possui uma suscetibilidade alta e muito alta a escorregamentos. A validação dos resultados obteve uma exatidão geral de 95%, com uma área abaixo da curva ROC (*Receiver Operating Characteristic*) de 0,960. Portanto, o mapa obtido pôde ser considerado útil para monitorar as áreas propensas a deslizamentos.

As vantagens dessa abordagem em contraste com modelos determinísticos e físicos consistem na facilidade de atualização, custo-benefício, e reprodutibilidade dos resultados. No entanto, deve-se notar que, mesmo que o modelo empregado produzisse resultados, as abordagens de MMAD dependem fortemente de preferências subjetivas. Com base nos resultados, concluiu-se que o método proposto foi eficaz para a avaliação da suscetibilidade, uma vez que os resultados obtidos foram robustos e que não foi necessária uma quantidade extensa de dados de entrada.

2.4.5 Análise sobre o uso do AHP na avaliação suscetibilidade de taludes

A análise da suscetibilidade de escorregamentos de terra é um processo que inclui a determinação dos fatores que podem deflagrar o escorregamento, bem como a análise em conjunto dos fatores selecionados, comparando-os. Para aperfeiçoar as abordagens do mapeamento de suscetibilidade considera-se pertinente incorporar técnicas estatísticas que diminuam a subjetividade da análise de escorregamentos.

O AHP é uma dessas técnicas, que reduz os problemas complexos de decisão em uma sequência de comparações par a par, que podem ser facilmente entendidas. Devido à sua simplicidade e flexibilidade, o AHP tem sido amplamente aplicado em estudos de suscetibilidade a deslizamentos (FARIA, 2011; REIS et al., 2012; VANACOR; ROLIM, 2012; BRITO et al., 2017; ARCA et al., 2019). Para a boa utilização do AHP é necessária a avaliação de um especialista na determinação dos pesos iniciais de cada fator de suscetibilidade selecionado, sendo que com a aplicação do AHP consegue-se a determinação relativa da importância de cada fator dentro da análise. No entanto, deve-se apontar que, embora produza resultados significativos e confiáveis, a técnica AHP depende das preferências do avaliador especialista, podendo variar de avaliador para avaliador.

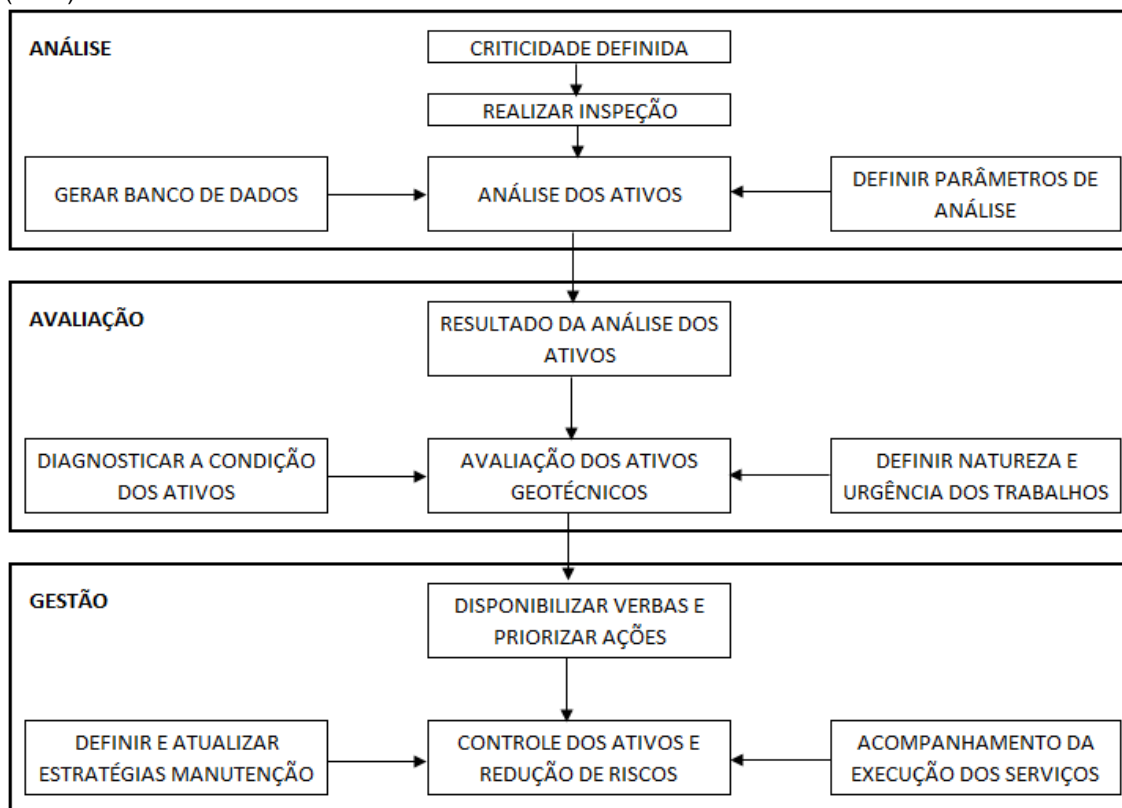
Uma das vantagens do AHP, em relação a outros métodos, é fornecer maneiras de avaliar a consistência dos julgamentos do especialista através da RC (conforme subitem c do item 2.4.3), em que RC menor ou igual a 0,1 indica que os julgamentos têm um nível aceitável de consistência e os pesos encontrados são válidos. Outras vantagens encontradas consistem na facilidade de atualização da base de dados, baixo custo de aplicação, reprodutibilidade dos resultados e padronização dos fatores selecionados inicialmente para análise, sendo estes os motivos da ampla utilização mundial do método AHP para a avaliação e mapeamento da suscetibilidade em taludes.

2.5 CONSIDERAÇÕES GERAIS CAPÍTULO 2

O processo de gestão de ativos geotécnicos e todo encadeamento necessário, desde a inspeção até à execução da obra, leva a que seja necessário uma perfeita compreensão e definição de métodos para todas as ferramentas ligadas à gestão e manutenção desses ativos. A gestão de risco geotécnicos é parte integrante de uma gestão de ativos de infraestrutura de qualidade, e ambas possuem atividades análogas a serem desenvolvidas para que sejam plenamente aplicadas e documentadas.

Todo encadeamento necessário, desde a definição de criticidade, inspeção, diagnóstico, priorização das ações, até à execução da obra, leva a que seja necessário uma perfeita compreensão e definição de métodos para todas as etapas ligadas à gestão e manutenção desses ativos. A figura 21 ilustra como os processos de Análise, Avaliação e Gestão referentes a gestão de riscos (figura 8, página 59) definidas por Fell & Hartford (1997) são etapas macros referentes as atividades em menor escala propostas por Baldeiras (2008) para a gestão de ativos em infraestrutura ferroviária (figura 2, página 28). Percebe-se, ao longo da revisão bibliográfica, que a gestão de risco é etapa integrante da gestão de ativos, auxiliando na otimização dos recursos, definindo ações e ativos prioritários.

Figura 21 – Analogia entre etapas referentes ao processo de Estudo do Risco Geotécnico proposto por Fell e Hartford (1997) com as atividades de Gestão de Ativos de infraestrutura propostas por Baldeiras (2008)



Fonte: Elaborada pela autora com base em Fell e Hartford (1997).

Conhecer e compreender a evolução da degradação dos ativos geotécnicos, em resultado às observações e inspeções sistemáticas, possibilitará estabelecer ações de manutenção, devidamente planejadas e ajustadas a cada caso, visando a aumentar a previsibilidade e reduzir a probabilidade de ocorrência de incidentes, otimizar custos e aumentar o tempo de vida útil dos ativos geotécnicos.

3 MÉTODOS E ETAPAS DA PESQUISA

Inicialmente, este estudo apresenta a prática atual da EFVM frente a gestão dos seus Ativos Geotécnicos, em que são expostos e comentados todos os processos referentes a inspeção, definição de criticidade dos ativos geotécnicos tipo talude de corte, estratégias de manutenção para taludes e a gestão de risco praticados pela ferrovia. Para além de descrever as práticas atuais em gestão de ativos de infraestrutura na EFVM, foi possível identificar GAPs e propor melhorias ao processo de gestão da ferrovia, servindo inclusive como um guia prático para outros gestores de infraestrutura ferroviária e rodoviária.

Nesta dissertação foram investigados os 167 ativos geotécnicos de corte localizados no trecho delimitado entre os quilômetros 231 ao 383 da EFVM, através dos dados constantes nas fichas de cadastro e inspeção. As fichas de cadastro e inspeção são padronizadas para toda a ferrovia e usadas na rotina de inspeção de ativos geotécnicos conforme definido na estratégia de manutenção da EFVM (apresentados nos itens 4.4 e 4.5). A partir dos dados constantes nessas fichas, foram utilizadas as informações referentes ao material constituinte do talude, inclinação, altura, presença visual de umidade e afastamento do talude de corte da via férrea. Os critérios que justificam a escolha do local é a existência de uma amostragem diversa, bem como o fato de o inspetor local ser o mais experiente hoje em atividade na ferrovia, garantindo assim maior confiabilidade das informações constantes nas fichas de inspeção.

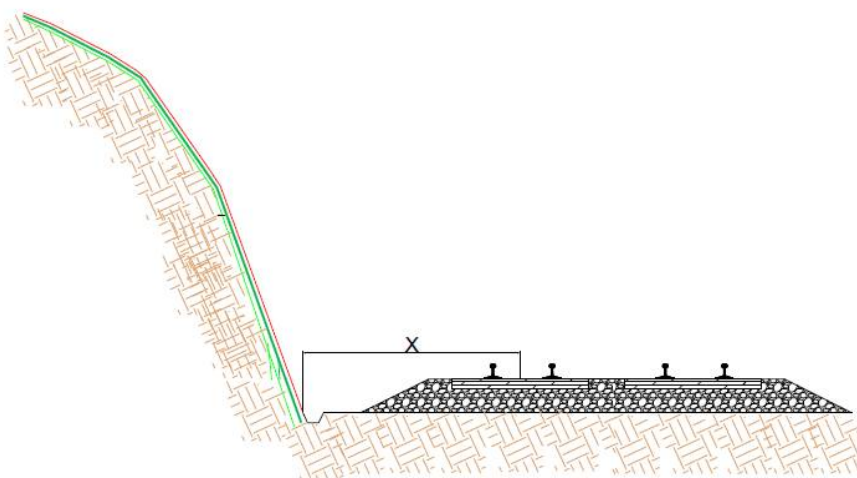
A existência ou previsão de deslizamentos de terra é resultante da somatória de processos ou fatores condicionantes, e a suscetibilidade de sua ocorrência pode ser representada pelo resultado da combinação com que cada variável de cada um dos fatores selecionados contribui para a ocorrência do evento (VÂNACOR; ROLIM, 2012). Para determinar o peso relativo dos fatores condicionantes selecionados foi incorporado o método AHP na avaliação dos mesmos. Com o incremento desse método, as abordagens foram desenvolvidas buscando diminuir a subjetividade, uma vez que os indicadores avaliados estavam pré-definidos e hierarquizados, propiciando facilidade e simplicidade na identificação e avaliação das áreas susceptíveis e críticas.

Os fatores condicionantes geológico-geotécnicos e ambientais dos processos de escorregamentos foram denominados para este estudo de indicadores de suscetibilidade. Esses indicadores e suas respectivas classes foram escolhidos com base no estudo de Faria (2011). No entanto, os trabalhos de Vânacor e Rolim (2012) e Brito et al. (2017) foram de grande importância e auxílio, principalmente na utilização da nomenclatura suscetibilidade. Faria (2011) chamou de indicadores de perigo, o que o trabalho de Vânacor e Rolim (2012) chamou de fatores ambientais condicionantes do deslizamento e o trabalho de Brito et al. (2017) chamou de fatores condicionantes de escorregamento.

O estudo de Faria (2011) se procedeu na encosta urbana do Município de São Sebastião/SP e identificou em 4 tipos a natureza da encosta/talude, sendo estas: encosta natural, talude de corte em solo/rocha, bloco rochoso e talude de aterro. Para o estudo dos ativos geotécnicos tipo talude de corte da EFVM foi necessária uma simplificação, pois há ativos com mais de 3 km de extensão, que ao longo de toda a sua extensão apresentam trechos em rocha sã, rocha alterada e solo residual. Portanto, adotou-se os indicadores relativos a encosta de talude em solo/rocha do estudo referência de Faria (2011).

Esta pesquisa é desenvolvida em 3 etapas: A primeira etapa estuda a classificação da suscetibilidade de deslizamento de terra nos ativos de corte, do trecho delimitado, através dos indicadores e pesos definidos no estudo de Faria (2011). A segunda etapa descreve a seleção e atribuição de pesos para 4 indicadores de suscetibilidade escolhidos pelos especialistas em infraestrutura da EFVM. A terceira etapa propõe uma metodologia simplificada para classificação da criticidade dos ativos geotécnicos de corte do trecho estudado, através da classificação da suscetibilidade encontrada na segunda etapa, adicionando-se o 5º indicador *afastamento do talude de corte da via* (X), chamado de indicador de criticidade, conforme apresentado na figura 22.

Figura 22 – Indicador criticidade afastamento do talude de corte da via (X)



Fonte: Elaborada pela autora.

3.1 ADAPTAÇÃO DOS INDICADORES DE SUSCETIBILIDADE DE DESLIZAMENTO DE TERRA CONFORME FICHAS DE CADASTRO E INSPEÇÃO DA EFVM

Para a classificação da suscetibilidade foi necessário proceder a compatibilização dos dados contidos nas fichas de cadastro e inspeção da ferrovia, com os indicadores estudados por Faria (2011). Essa adaptação foi necessária uma vez que os indicadores selecionados para a avaliação da suscetibilidade não adotaram a mesma nomenclatura apresentados no estudo de referência, ou simplesmente não eram monitorados. A correlação feita entre os indicadores de suscetibilidade do estudo de referência com os respectivos itens nas obtidos das fichas da EFVM são apresentados na tabela 6.

TABELA 6 – CORRELAÇÃO ENTRE INDICADORES DE PERIGO IDENTIFICADOS POR FARIA (2011) COM OS ACOMPANHADOS PELA EFVM

Indicadores de perigo, Faria (2011)	Item correspondente a ficha de inspeção EFVM
Amplitude (m)	Altura estimada do talude (m)
Declividade (°)	Inclinação do talude (°)
Uso e Cobertura	Condição da cobertura vegetal
N.A.	Presença de água
Água Superficial	Não monitorado
Material	Tipo de material. Com 4 parâmetros monitorados: Solo coeso, Solo não coeso, Rocha alterada e Rocha Sã
Estrutura Geológica	Item baseado em três variáveis: Existência de pontos de fissuras/trincas, Erosão e Blocos de rocha instáveis

Fonte: Elaborada pela autora.

Faria (2011) considerou água superficial a presença de vazamentos de sistemas de drenagem superficial ou mesmo água servida (tubulações, calhas, valas, etc), sendo esse indicador não monitorado pela ficha de inspeção da EFVM. Já o indicador nível d'água (N.A.) representa as águas subsuperficiais no talude, que são definidos na observação de lençol aflorante na encosta, sendo o mesmo conceito utilizado para a avaliação da presença de água nos taludes da EFVM.

Além disso, para todos os indicadores também foi necessário adequar as faixas de avaliação, mais uma vez a fim de se respeitar os dados obtidos das fichas devido as características dos taludes de corte impostas pela ferrovia. As adaptações feitas nas classes e pesos estão apresentadas no item 6.1.1.

Faria (2011) propôs ainda uma classificação através de um método estatístico de fatiamento para os resultados encontrados, conforme tabela 7, com o objetivo de classificar os taludes por meio da média aritmética dos índices de suscetibilidade encontrados em: *baixo*, *médio*, *alto* e *muito alto*. O cálculo do índice da suscetibilidade é efetuado com os valores numéricos dos pesos de cada indicador, conforme a seguinte ponderação $IS = \sum Pi.Xi / 100$, em que Pi é igual ao peso do indicador de suscetibilidade e Xi é igual ao peso da classe do respectivo indicador de suscetibilidade.

TABELA 7 – PARÂMETROS PARA ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE

Índice de Suscetibilidade (IS)	Classificação da Suscetibilidade
$IS < X - \frac{1}{2} \Delta$	Baixo
$X - \frac{1}{2} \Delta < IS < X + \frac{1}{2} \Delta$	Médio
$IS > X + \frac{1}{2} \Delta$	Alto
Presença de feições de instabilidade expressivas	Muito alto

Fonte: Modificado de Faria (2011).

Na classificação da suscetibilidade, todos os setores são classificados conforme critério apresentado na tabela 7. Caso ocorra presença de instabilidade, esses setores com feições expressivas são reclassificados como setores com suscetibilidade muito alta. Com a aplicação do AHP em todos os ativos estudados, os condicionantes geológico-geotécnicos escolhidos serão sempre analisados, sendo possível verificar a contribuição relativa de cada um deles no desenvolvimento de determinado processo de escorregamento.

3.2 SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTO DE TERRA COM BASE NA EXPERIÊNCIA DE ESPECIALISTAS EFVM

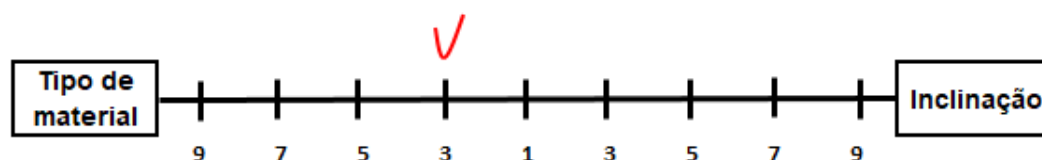
A fim de verificar se os critérios definidos para a avaliação da suscetibilidade em encostas urbanas podem ser aplicáveis à taludes de obras lineares, decidiu-se verificar os pesos que os especialistas em infraestrutura ferroviária atribuiriam aos indicadores selecionados para a avaliação da suscetibilidade.

Inicialmente, os especialistas EFVM consideraram não ser necessária a avaliação de todos os 7 indicadores estudados no item 3.1, como forma de simplificação dos dados a serem geridos e manipulados. Outro motivo se dá porque nem todos esses indicadores são acompanhados via ficha de inspeção, vide o indicador *água superficial*, que não é monitorado. Outro fator refere-se à condição do ativo, pois como a inspeção é uma “fotografia” do momento do ativo, indicadores como *uso/cobertura*

podem sofrer alterações dependendo da época do ano em que a inspeção for realizada (terá divergência no resultado se a inspeção for realizada no período chuvoso ou de seca). E por fim, o indicador *estrutura geológica* foi considerado subjetivo pois não há parâmetros definidos no que se refere a favorável ou desfavorável a estabilidade, podendo gerar diferentes atribuições por diferentes inspetores e condições avaliadas, motivo esse que gerou a retirada desse item da ficha de cadastro de ativos da ferrovia.

Diante do exposto, foram considerados para essa análise os seguintes indicadores: *amplitude*, *declividade*, *material* e *N.A*, que a partir de agora serão chamados de acordo com a nomenclatura utilizada na ficha de inspeção Vale, sendo eles respectivamente: *altura*, *inclinação*, *tipo de material* e *presença de água*. Após a seleção desses indicadores de suscetibilidade, foram atribuídos pesos relativos a cada um deles com a aplicação do método AHP, conforme as etapas de desenvolvimento do método, já apresentado no Capítulo 2 (item 2.4). A figura 23 ilustra um exemplo deste procedimento para o nível hierárquico 1 dos indicadores de suscetibilidade: tipo de material versus inclinação, no qual foi avaliado como modernamente mais importante o tipo de material em relação a inclinação do solo. Os resultados da aplicação do AHP com as respectivas atribuições de pesos pelos Especialistas, e também a classificação da suscetibilidade estão descritas no item 6.2 dessa pesquisa.

Figura 23 – Exemplo e aplicação da escala fundamental de Saaty na comparação par a par do tipo de material e da inclinação do solo



Fonte: Elaborada pela autora, com modificações de Faria (2011).

Para a classificação da suscetibilidade, os especialistas decidiram mitigar a arbitrariedade pessoal com relação a presença de feições de instabilidade, considerada por eles subjetiva, e subdividiram a classificação conforme apresentado

na tabela 8. Basicamente foi definido que ativos cujos índices de suscetibilidade fossem superiores a 50% seriam classificados com suscetibilidade muito alto, conforme tabela 8.

TABELA 8 – CLASSIFICAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE PARA ATIVOS GEOTÉCNICOS TIPO TALUDE DE CORTE DE ACORDO COM ESPECIALISTAS EFVM

Índice de Suscetibilidade (IS)	Classificação da Suscetibilidade
$IS < X - \frac{1}{2} \Delta$	Baixo
$X - \frac{1}{2} \Delta < IS < X + \frac{1}{2} \Delta$	Médio
$X + \frac{1}{2} \Delta < IS < 50\%$	Alto
$IS > 50\%$	Muito alto

Fonte: Elaborada pela autora, com modificações de Faria (2011).

3.3 CORRELAÇÃO ESTABELECIDADA ENTRE CLASSIFICAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE E CRITICIDADE DE ATIVOS

Como o resultado final desta pesquisa visa uma padronização dos critérios para a classificação da criticidade dos ativos geotécnicos de corte, criticidade essa que define a frequência das inspeções nesses ativos, estabeleceu-se uma correlação entre a gestão da manutenção de ativos geotécnicos com a gestão de risco em taludes, uma vez que ambas são peças fundamentais e propiciam um Programa de Gestão de Ativos Geotécnicos mais eficaz e seguro. Para além disso, esses processos de gestão apresentam algumas semelhanças, principalmente no que tange ao processo de inspeção, cujo objetivo principal é a identificação dos locais em piores condições e que necessitem de maior atenção, no caso em questão, dos ativos mais críticos.

A figura 24 ilustra a correlação feita entre a gestão da manutenção de ativos com a gestão de risco geotécnicos. Os indicadores de avaliação da suscetibilidade foram retirados das fichas de cadastro e inspeção de campo, e quando organizados e

hierarquizados através do método AHP, auxiliaram na definição da criticidade dos ativos estudados.

Figura 24 – Gestão de ativos Geotécnicos com a utilização do AHP

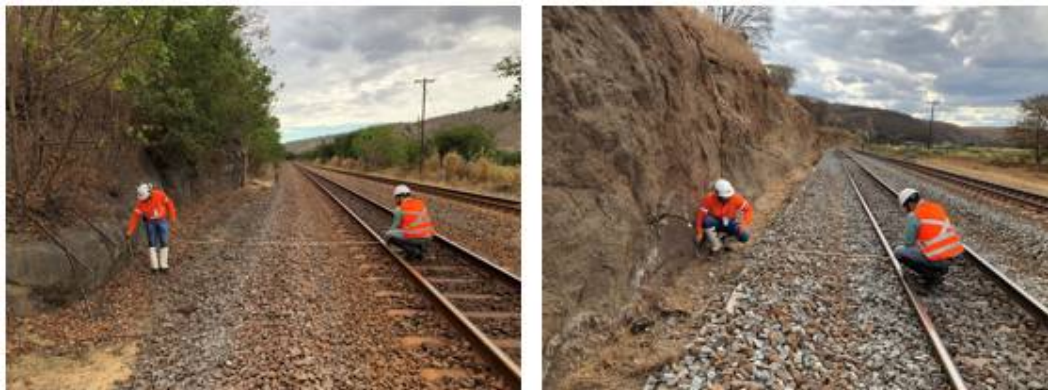


Fonte: Elaborada pela autora.

A avaliação da criticidade em taludes relacionada a avaliação da suscetibilidade é um passo contribuintório para melhorar o conhecimento da base de ativos geotécnicos, com o objetivo de desenvolver um processo holístico de avaliação desses ativos. Conhecendo melhor os ativos geotécnicos, perceberemos quais requerem menores ou maiores intervenções, a fim de melhorar sua resiliência e otimizar gastos com manutenções.

Com o auxílio dos Especialistas EFVM, observou-se a necessidade de acrescentar mais um indicador de avaliação do ativo, mas não diretamente relacionado a característica geológico-geotécnica do mesmo. Esse indicador foi chamado de *Afastamento do talude de corte da via* e corresponde a distância do pé do corte em sua parte mais restritiva ao eixo central da via permanente. Como esse item foi inserido na revisão de 2017 feita na ficha de cadastro do ativo, foi necessário ir aos 167 ativos de corte de realizar esse levantamento (figura 25).

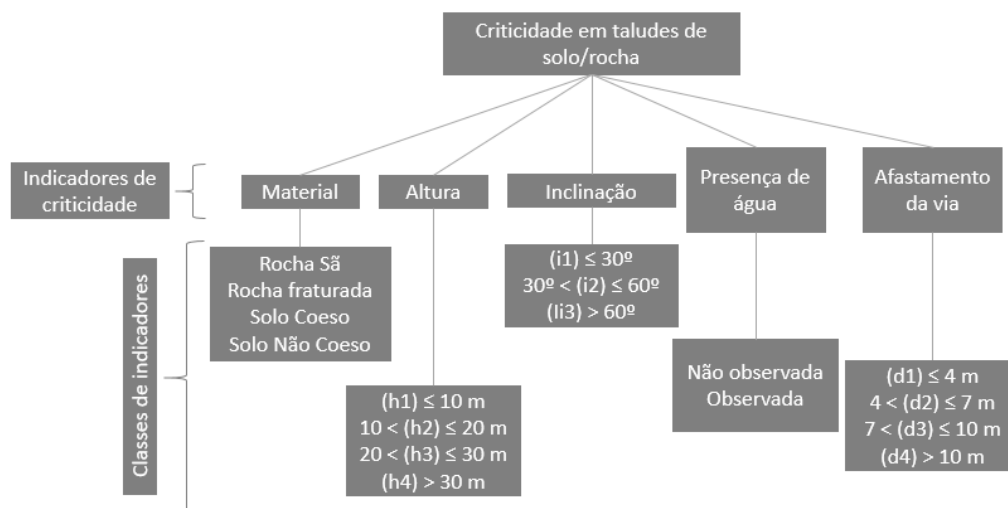
Figura 25 – Medida realizada em campo do pé do talude ao eixo da via



Fonte: Elaborado pela autora.

A seleção desse indicador fez-se após a constatação de que quanto maior a distância do talude em relação ao gabarito da ferrovia, menor será o impacto causado por um possível deslizamento de terra à operação da mesma, podendo até mesmo não haver impacto algum a circulação de trens. A correlação entre suscetibilidade e criticidade procedeu-se após a afirmação de que quanto mais suscetível a deslizamento de terra e mais próximo a ferrovia o talude de corte está, mais crítico ele será. Após todas as correlações feitas, os indicadores de criticidade de ativos de corte da EFVM ficaram classificados de acordo com a figura 26 e os pesos relativos das classes foram atribuídos utilizando o método AHP, cujos resultados são apresentados no item 6.3.

Figura 26 – Indicadores definidos para cálculo da criticidade de taludes e respectivas classes



Fonte: Elaborada pela autora.

3.3.1 Estruturação da planilha Excel para cálculo do índice de criticidade (IC)

O próximo passo foi inserir na planilha de Excel elaborada para a avaliação da suscetibilidade o indicador afastamento do ativo da via, para então ser possível a avaliação da criticidade dos ativos. A planilha é composta pelos dados de localização de km início e fim de cada ativo de corte e dos indicadores de criticidade estudados, conforme ilustrado na figura 27.

Figura 27 – Estruturação da planilha para cálculo da criticidade dos ativos

CORTE												
ATIVO		INDICADORES DE CRITICIDADE										Índice de Criticidade
		Material do Corte		Afastamento da Via		Inclinação		Altura		Presença Visual Umidade		
km Início	km Fim	VALOR	%	VALOR	%	VALOR	%	VALOR	%	VALOR	%	%

Fonte: Elaborada pela autora.

Essa planilha teve a função de organizar, armazenar os dados do levantamento de campo que estavam disponíveis nas fichas de cadastro e inspeções, e calcular o respectivo índice de criticidade de cada ativo. Conforme as informações de cada ativo fossem sendo preenchidas, o percentual referente a cada indicador era calculado e o índice de criticidade era apresentado.

O cálculo do IC é efetuado com a somatória dos valores numéricos dos pesos de cada indicador, conforme a seguinte ponderação, adaptado de Faria (2011):

$$IC = \sum P_i.X_i / 100$$

Onde:

P_i = peso do indicador de criticidade.

X_i = peso da classe do respectivo indicador de criticidade.

3.3.2 Classificação da criticidade dos ativos

A tabela 9 refere-se a proposta de classificação geral da criticidade, e foi estruturada com os dados obtidos do IC de todos os ativos estudados. A função desta tabela é classificar os ativos em quatro níveis: baixo, médio, alto e muito alto, similar a classificação da suscetibilidade apresentada no item 3.2. Correlacionando esses 4

níveis com as faixas de criticidade adotada na EFVM fez-se a seguinte relação: ativos com criticidade A referem-se ao índice de criticidade muito alto; com criticidade B referem-se ao índice de criticidade alto; e com criticidade C referem-se aos índices de criticidades médio e baixo.

Pontua-se ocorreu a associação de um método estatístico de fatiamento (média aritmética somada ou diminuída da metade do desvio padrão) com o Método AHP, objetivando a classificação da criticidade dos ativos de corte da EFVM. Logo, os critérios adotados não fazem parte dos procedimentos do Método AHP, mas visam complementá-los.

TABELA 9 – CLASSIFICAÇÃO DA CRITICIDADE PROPOSTA PARA ATIVOS GEOTÉCNICOS TIPO TALUDE DE CORTE EFVM

Índice de Criticidade (IC)	Classificação de Criticidade	Criticidade ativos EFVM
$IC < X - \frac{1}{2}\Delta$	Baixo	C
$X - \frac{1}{2}\Delta < IC < X + \frac{1}{2}\Delta$	Médio	
$X + \frac{1}{2}\Delta < IC < 50\%$	Alto	B
$IC > 50\%$	Muito alto	A

Fonte: Elaborada pela autora.

4 A GESTÃO DE ATIVOS GEOTÉCNICOS NA EFVM

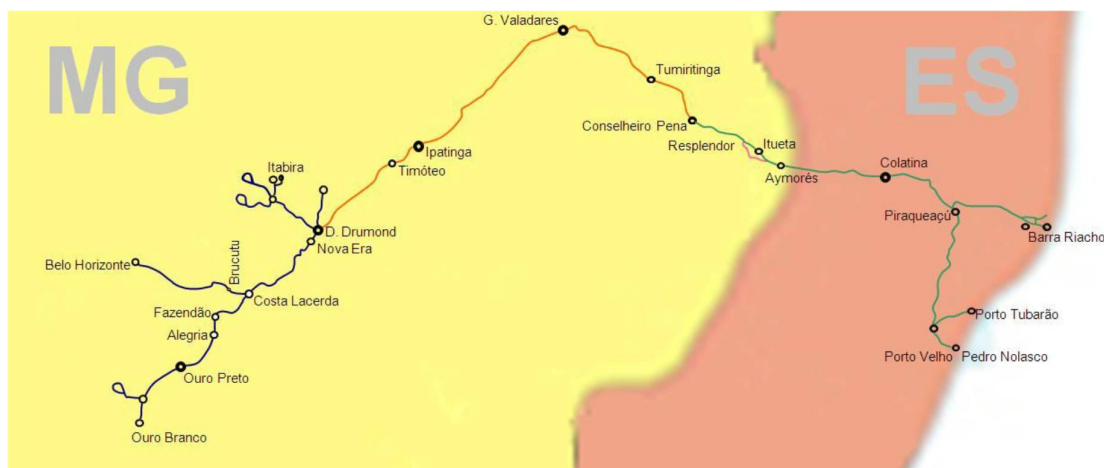
A adoção de um sistema de gestão de ativos de infraestrutura na EFVM se iniciou no ano de 2006, com a formalização do processo de inspeção sistemática após a criação da função inspetor de ativos. De lá para cá vários formatos de estrutura foram testados, com o aumento do número de inspetores, elaboração e revisão das fichas de inspeção, mudanças no sistema de gestão dos ativos e alterações dos indicadores a serem monitorados. O objetivo deste capítulo, para além de descrever as práticas atuais em gestão de ativos de infraestrutura na EFVM, é identificar GAPs e propor melhorias ao processo de gestão da ferrovia, podendo servir inclusive como um guia prático para outros gestores de infraestrutura ferroviária e rodoviária.

A implementação de um sistema de gestão de ativos não é um processo imediato, é trabalhoso e necessita ser desenvolvido ao longo do tempo, demandando planejamento de ações estruturadas e acompanhamento das atividades realizadas. Diante desse contexto, explicaremos a seguir como a EFVM atua nos ativos de infraestrutura da ferrovia objetivando uma boa gestão dos mesmos a fim de minimizar os riscos inerentes ao seu negócio.

4.1 APRESENTAÇÃO DA EFVM

A Estrada de Ferro a Vitória a Minas (EFVM) é uma ferrovia centenária, inaugurada em 13 de maio de 1904, que vem se destacando como uma das mais modernas do mundo em transporte de cargas, graças aos investimentos plurianuais feitos em tecnologia. A ferrovia está diretamente ligada ao desenvolvimento dos municípios que fazem parte de seu trajeto (figura 28), e sua principal função é transportar o minério de ferro extraído das minas da Vale, no interior de Minas Gerais, ao Porto de Tubarão, no Espírito Santo. Também são transportados mais de 40 produtos diversos como aço, soja, carvão, calcário, eucalipto, entre outros, sendo responsável pelo transporte de 25% de toda a carga ferroviária no país.

Figura 28 – Mapa da malha ferroviária da EFVM



Fonte: Sgavioli (2012).

Localizando-se na Região Sudeste do Brasil, possui 905 km de extensão de linha, sendo que destes 607 km são em linha dupla, bitola métrica, e rampa máxima de 1,5%, o que garante uma velocidade máxima de 60 km/h e média de 40 km/h. Possui em sua base de ativos uma frota de 321 locomotivas, 12.712 vagões de minério de ferro, 136 pontes, 51 viadutos, 50 túneis e 40 passarelas de pedestres, e mais de 3.600 ativos geotécnicos (VALE, 2017).

A ferrovia transportou em 2017 mais de 117 milhões de toneladas de minério de ferro e aproximadamente 11 milhões de toneladas em produtos diversos de carga geral. É a única ferrovia no Brasil que diariamente oferece em cada sentido um trem de passageiros, de longa distância, nos sentidos Vitória x Belo Horizonte/Itabira, transportando anualmente cerca de um milhão de pessoas. Sua inserção estratégica possibilita interconexões com outras ferrovias, como a VLI, antiga Ferrovia Centro Atlântica e Ferrovia Norte Sul, e a MRS Logística, integrando os estados de Minas Gerais, Espírito Santo, Rio de Janeiro, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Bahia, Tocantins e Distrito Federal.

As ações com foco na segurança ferroviária contribuíram positivamente em conquistas importantes: 21% de redução nas ocorrências ferroviárias em 2017, quando comparado ao ano de 2016, sendo o menor número já registrado. O objetivo da Vale é atuar de forma consistente e sistêmica para evitar toda e qualquer

ocorrência, e é um orgulho para a empresa ser a ferrovia com menor índice de ocorrências por quilômetro no Brasil e estar entre as que registram menos ocorrências no mundo (VALE, 2017).

Anualmente são investidos mais de R\$ 20 milhões em obras nos ativos de infraestrutura, a fim de garantir a integridade da via e o fluxo continuado de trens. Desse montante, a maior parte é destinada as obras para estabilização dos ativos de cortes e aterros, como cortina atirantada, concreto projetado, retaludamento e revegetações, com o objetivo de se evitar acidentes, ou até mesmo solucionar problemas ocorridos, como na figura 29.

Figura 29 – Imagem do antes x depois de implantação de obra de concreto projetado e solo grampeado no km 191+250 LT



Fonte: Elaborado pela autora.

4.2 ATIVOS DE INFRAESTRUTURA DA EFVM

Ferrovias possuem muitos ativos considerados importantes e valiosos, que precisam ser gerenciados e mantidos para que suas funções sejam mantidas íntegras e operacionais ao longo de toda sua vida útil. Dentre estes, os ativos geotécnicos de corte e aterro são fundamentais para o sistema como um todo, pois são eles que dão suporte e operacionalidade a toda a linha férrea, mantendo o traçado da via em condições de tráfego.

Na EFVM os ativos de infraestrutura são chamados de ativos de “infra”, e conforme definido em Documento Técnico Nº 11333 (DocTec 11333) – Estratégia de Manutenção 2016-2020 para Infraestrutura, Vale (2015), estes estão agrupados em:

- Taludes de Corte
- Taludes de Aterro;
- Bueiros;

Na Vale, todos esses ativos são cadastrados no sistema de gestão de ativos denominado *SAP (Systems, Applications and Products)*. Este sistema tem o objetivo de concentrar em uma base de dados unificada todas as informações referentes ao ativo, e permitir avaliar o cumprimento do planejamento estratégico de manutenção da empresa.

Na ferrovia são considerados ativos geotécnicos todos os taludes de corte e aterro que suportam a via permanente. De acordo com o sistema SAP de gestão de ativos, tem-se hoje cadastrado 3.657 ativos geotécnicos, sendo que 1.819 destes são ativos geotécnicos do tipo corte (tabela 10).

TABELA 10 – QUANTIDADE DE ATIVOS GEOTÉCNICOS DO TIPO CORTE E ATERRO CADASTRADO NO SISTEMA SAP, COM AS RESPECTIVAS CLASSES DE CRITICIDADE ATUAIS

Tipo	A	B	C	Total
Aterro	69	800	969	1838
Corte	121	819	879	1819

Fonte: elaborado pela autora.

Como abordado no item 2.2.4 os ativos geotécnicos normalmente se deterioram lentamente, sendo considerados ativos com ciclo de vida complexos e de difícil precisão. Na EFVM não é diferente, a maioria dos taludes de corte foram construídos ou modificados na década de 70, ano de sua duplicação. Devido a inserção geográfica da ferrovia, inúmeros fatores externos podem perturbar as funções desses ativos, como as chuvas intensas na região Metropolitana de Belo Horizonte e os períodos de seca extremas, nos municípios do Noroeste capixaba e do Vale do Rio Doce mineiro. Além disso, os projetos da época da construção da ferrovia não foram concebidos na

melhor técnica, pois muitos dos taludes não possuem algum, ou mesmo um efetivo sistema de drenagem, o que vem colaborando para o avanço acelerado das degradações desses ativos. Portanto, uma rotina de inspeção definida, entre outros meios, para verificar e monitorar a condição dos taludes ao longo do tempo são necessários para acompanhar a evolução desses ativos e, a partir destas prever e priorizar os serviços de manutenção.

4.3 CRITICIDADE DE ATIVOS NA EFVM

A classificação de ativos por criticidade na EFVM é o processo de atribuir diferentes níveis de importância aos ativos, do mais crítico ao menos crítico, buscando direcionar a atenção e esforços aos ativos que (a) são mais valiosos para a companhia ou (b) que podem gerar mais impactos ao sistema, caso alguma falha em seu funcionamento venha acontecer. Conceitualmente essa classificação resulta em maior eficácia na aplicação dos recursos financeiros da empresa, pois servirá de base para a escolha da frequência, da técnica e dos serviços mais adequados de manutenção para cada grupo de ativos com a mesma criticidade definida. Portanto, é a partir da criticidade que se estabelece a periodicidade de inspeção e a estratégia de manutenção.

Os ativos de infraestrutura ferroviária da EFVM são classificados em criticidades A, B e C. O DocTec 11333 define a classificação de ativos de uma maneira geral, e não estabelece parâmetros que auxiliem nessa definição. De acordo com o documento, ativos classificados como criticidade A são os que mais impactariam na circulação de trens caso algum evento inesperado aconteça, e consequentemente, ativos classificados como B e C teriam menor impacto na operação da ferrovia, conforme abaixo:

- Criticidade A: falhas no funcionamento normal deste ativo podem provocar grandes paralisações na circulação ferroviária, além de grandes prejuízos ao meio ambiente como também prejuízos sócios econômicos.
- Criticidade B: ativo cuja falha impõe consequências medianas à operação ferroviária, ou ao meio ambiente ou prejuízos sócios econômicos.
- Criticidade C: ativo cuja falha não impõe consequências consideráveis à operação ferroviária, ou ao meio ambiente ou prejuízos sócios econômicos.

Atualmente, a criticidade associada ao ativo está diretamente ligada às suas características, estado de conservação, histórico de falhas e potencialidade de novas falhas nos mesmos. Após entrevistas com os inspetores de infra (pessoas designadas a realizarem as atividades de inspeção) ficou constatado que as criticidades hoje definidas para os ativos geotécnicos de corte e aterro foram baseadas num cruzamento dos dados históricos somada a experiência do inspetor responsável pelo trecho, pois não há métodos e parâmetros bem definidos para a mesma. Levou-se em conta principalmente a reincidência de manutenções corretivas e interdição da via após algum evento danoso, como queda de barreira ou de bloco rochoso.

Devido a constatação desses fatos, este trabalho se torna necessário, pois visa complementar a estratégia de gestão de ativos da EFVM através da definição de parâmetros que auxiliem o corpo técnico da ferrovia na definição da criticidade dos ativos geotécnicos do tipo corte.

4.4 INSPEÇÃO DE INFRAESTRUTURA EM ATIVOS GEOTÉCNICOS NA EFVM

Para que haja uma efetiva gestão de ativos através da gestão da manutenção, é necessário que informações relevantes sobre cada ativo sejam levantadas a fim de auxiliar na avaliação dos mesmos. O banco de dados dos ativos de infraestrutura é parte integrante do Sistema de Gerenciamento da Manutenção dos Ativos da EFVM. No bojo desse sistema estão dois procedimentos de fundamental importância que apoiam a gestão da manutenção e a redução dos riscos operacionais: o cadastro e a inspeção dos ativos (VALE, 2013).

As inspeções de ativos geotécnico em campo atuam como ferramenta para observar e registrar as características relacionadas à condição do ativo, identificando problemas e auxiliando no direcionamento dos recursos necessários a garantir sua integridade estrutural e operacional. Nos dias atuais, na EFVM, essa é a principal atividade detectora de defeitos na infraestrutura da via, sendo a peça chave inicial para o programa de gestão de ativos local. Ou seja, através das inspeções à campo são feitas as avaliações das condições do solo, vegetação, sistemas de drenagem,

alterações feitas por terceiros na faixa de domínio da ferrovia ou no entorno desta, entre outros parâmetros que foram definidos para monitoramento e avaliação.

A inspeção da infraestrutura da via é realizada a nível visual por um ou vários operários em conjunto, denominados “inspetores de infra”, sendo normalmente realizadas a pé, verificando-se o estado dos materiais do ativo, componentes de drenagem, vegetação, entre outros. Nos dias atuais, em contrapartida, com a proliferação do uso de Veículo Aéreo Remotamente Pilotado (VARP), popularmente conhecidas como “*drones*”, a EFVM tem utilizados desses recursos para auxiliar a inspeção nesses ativos, principalmente nos de mais difícil acesso. No entanto, esses equipamentos são utilizados apenas como complemento a inspeção visual, não havendo procedimentos, softwares e programas específicos para o processamento das imagens levantadas.

O fator primordial para a realização de uma inspeção de qualidade está no quesito “pessoas”, pois as inspeções são atividades técnicas que demandam de um pessoal capacitado e com experiência no exercício do trabalho. Os “inspetores de infra” possuem vasta experiência em análise das condições dos ativos, sendo treinados para tal, e são capazes de realizarem a avaliação do estado estrutural do ativo, elaboração de relatórios, recomendar soluções, bem como prever a necessidade de monitoramento e estudos mais aprofundados para cada situação encontrada em campo. Atualmente, a EFVM apresenta em seu quadro técnico 8 inspetores de infra, cada qual com seu trecho específico designado, com função dedicada à realização das inspeções nos ativos.

Na EFVM, a inspeção objetiva a apuração das condições de segurança e funcionalidade dos ativos de infra, de forma que seja possível priorizar a manutenção nos de maiores riscos, e desta forma, diminuir as ocorrências “causa infra”, propiciando o consequente aumento da disponibilidade da via (VALE, 2013). Todas as informações levantadas servem para auxiliar na avaliação do ativo e suportar a priorização de investimentos e serviços necessários à garantia da integridade operacional da ferrovia.

No início de 2017 foi observada a necessidade de revisão da ficha de inspeção utilizada, pois de acordo com os inspetores a ficha em uso naquele momento era muito extensa e misturava informações de cadastro, condição dos ativos e quantidade de serviços necessários, gerando descontentamento e um processo de inspeção fora de padrão, uma vez que cada inspetor adaptou a ficha a sua facilidade. A fim de mitigar esse problema, foram geradas duas fichas, a de cadastro e a de inspeção de ativos, sendo estas apresentadas nos itens 4.4.1 e 4.4.3.

Conforme definido no DocTec 11333, as inspeções podem ser classificadas quanto ao nível pretendido do inspetor e a finalidade da mesma, podendo ser denominada de Inspeção Visual Sensitiva (IVS) ou Inspeção Detalhada (ID), mas inicialmente foi realizada uma Inspeção Cadastral a fim de conseguir formar o banco de dados dos ativos de infra monitorados.

4.4.1 Inspeção Cadastral na EFVM

A inspeção cadastral teve o objetivo de localizar e registrar as principais características que descrevem cada ativo por completo, sendo essa a primeira inspeção realizada em campo. Através dessa inspeção é que se conseguiu formar o banco de dados dos ativos geotécnicos, em que foram registradas todas as características definidas como relevantes, e que serão monitoradas nas próximas inspeções de rotina.

Essa inspeção é executada de forma manual, e as características avaliadas foram definidas previamente pela área de engenharia e confiabilidade da EFVM. Para padronização, ao longo de 2017 foi elaborada a ficha de inspeção cadastral para ativos geotécnicos de corte e aterro apresentada na figura 30, sendo esta a que está sendo utilizada atualmente pelos inspetores no trecho. Considerou-se importante inserir na revisão da ficha a informação referente à distância (m) do ativo, em sua parte mais restritiva, ao eixo da via, pois essa informação contribuíra a avaliação da criticidade do ativo. Também foi inserido a informação sobre a existência de obra de estabilização a fim de se levantar quantos ativos possuem esse tipo de intervenção.

Atualmente na EFVM, todos os ativos já estão cadastrados no sistema de gestão SAP. Quando necessária alguma alteração de informação, o inspetor responsável deverá proceder a solicitação de alteração no sistema. A detecção dessa necessidade de adequação vem, usualmente, das inspeções realizadas em campo.

Figura 30 – Ficha de cadastro de corte/aterro EFVM

Ficha de cadastro de CORTE/ATERRO							
Data do cadastro		Responsável		Código do Ativo		Entre House	
Inspetoria		Ramal					
CORTE	ATERRO	KM INÍCIO	KM FIM	LADO	CRITICIDADE	QTD DE BANQUETAS/BERMAS	
<p>Tipo de material:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <input type="checkbox"/> Solo Coeso <input type="checkbox"/> Solo não coeso <input type="checkbox"/> Rocha sã <input type="checkbox"/> Rocha alterada </div> <p>Presença de água:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <input type="checkbox"/> Fluxo Perene <input type="checkbox"/> Fluxo Ocasional <input type="checkbox"/> Sem Incidência <input type="checkbox"/> Aterro úmido </div> <p>Altura em relação a plataforma ferroviária:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <input type="checkbox"/> Até 10m <input type="checkbox"/> Entre 10 e 20m <input type="checkbox"/> Entre 20 e 30 m <input type="checkbox"/> Acima de 30m </div> <p>Ângulo de inclinação do talude em relação ao plano horizontal:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <input type="checkbox"/> Até 30° <input type="checkbox"/> Entre 30° e 60° <input type="checkbox"/> Acima de 60° </div> <p>Distância do pé do corte ao eixo da linha:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <input type="checkbox"/> Até 5m <input type="checkbox"/> Entre 5 e 10m <input type="checkbox"/> Acima de 10m Medida em campo: <input style="width: 50px;" type="text"/> </div> <p>Distância da crista do aterro ao eixo da linha:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <input type="checkbox"/> Até 5m <input type="checkbox"/> Entre 5 e 10m <input type="checkbox"/> Acima de 10m Medida em campo: <input style="width: 50px;" type="text"/> </div> <p>Existe drenagem?: <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Parcial</p> <p>Extensão de drenagem (m):</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> Plataforma: <input style="width: 50px;" type="text"/> Crista: <input style="width: 50px;" type="text"/> Berma: <input style="width: 50px;" type="text"/> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> Banqueta: <input style="width: 50px;" type="text"/> Descida d' Água: <input style="width: 50px;" type="text"/> </div> <p>Existe obra de estabilização?:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <input type="checkbox"/> Cortina atirantada <input type="checkbox"/> Concreto projetado <input type="checkbox"/> Gabião </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <input type="checkbox"/> Muro de arrimo <input type="checkbox"/> Não Existe <input type="checkbox"/> Outros <input style="width: 80px;" type="text"/> </div> <p>Estrutura Geológica:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <input type="checkbox"/> Desfavorável a estabilidade <input type="checkbox"/> Favorável a estabilidade </div> <p>Observações:</p> <div style="border: 1px solid black; height: 40px; width: 100%;"></div>							

Fonte: Acervo Vale (2018).

4.4.2 Inspeção Visual Sensitiva na EFVM

O DocTec 11333 VALE (2015) menciona que essa é uma inspeção essencialmente qualitativa, ou seja, a condição do equipamento é caracterizada, basicamente, de forma visual, se configurando em um processo expedito. A IVS deve observar os elementos essenciais dos ativos, de forma que seja possível obtenção da percepção da condição do ativo.

Para a IVS não é feito um relatório descritivo dos problemas detectados, apenas são registrados a condição geral dos ativos de acordo com a percepção do inspetor. Caso seja verificado alguma condição crítica (aparecimento de trincas no talude, blocos de rocha instáveis, expansão de erosões, tombamento de árvores) uma inspeção detalhada será executada posteriormente. Após a realização de toda IVS deverá ser aberta uma Ordem de Serviço (OS) no sistema SAP. Para as anomalias detectadas será criada uma nota da OS para registro de informações que, será dada baixa após a execução dos serviços necessários.

Para as IVS foi definido que serão apropriadas por ativo, constando o km inicial e o km final, lado da ferrovia, data de sua realização e responsável (s) pela mesma. Nessas inspeções, o inspetor deve verificar minimamente os itens definidos conforme DocTec 11333, sendo estes:

- A condição do sistema de drenagem superficial ao longo de todo o corte e aterro;
- A condição de vegetação herbácea e arbórea;
- O aparecimento e evolução de processos erosivos (sulcos, ravinas, trincas, fissuras);
- A surgência de água superficial nos taludes e/ou plataforma;
- Desplacamentos nos taludes rochosos;
- O estado de conservação dos taludes de corte e aterro;
- Recalques na plataforma;
- As condições dos taludes do aterro na região próxima aos bueiros;
- O excesso de vegetação a jusante e montante do bueiro;

- A condição de remanso à montante e jusante dos bueiros;
- As condições de assoreamento dos canais das obras de artes correntes;
- As condições de visibilidade, sinalização e pista de rolamento das passagens em nível e passagens inferiores;
- A integridade das vedações ao longo da via férrea;
- O estado de conservação das estradas de acesso rodoviário;
- A existência de possíveis invasões na faixa de domínio ferroviária;
- A condição de limpeza na faixa de domínio ferroviária (urbanas e rurais) e estações ferroviárias.

A periodicidade definida para essas inspeções depende da época do ano. Durante o período chuvoso, considerado pela EFVM entre os meses de novembro a março, as IVS devem ser realizadas duas vezes ao mês. Já no período de seca, entre os meses de abril a outubro, essas inspeções devem ser realizadas uma vez ao mês. E ainda, sempre que houver um alerta de chuva intensa em um único dia com registros nos pluviômetros de 50 mm ou ainda registro acumulado de 150 mm em 4 dias, deverá ser realizada uma IVS cobrindo toda a extensão de ocorrência deste alerta.

4.4.3 Inspeção Detalhada na EFVM

De acordo com o DocTec 11333 VALE (2015) é uma inspeção essencialmente, quantitativa, onde são registradas as quantidades de anomalias, tendo como principal objetivo o levantamento de dados necessários às eventuais intervenções, projetos preliminares e monitoramentos de campo. A periodicidade que essas inspeções devem ser realizadas está relacionada com a criticidade do ativo correspondente e está definida conforme estratégia de manutenção (explicada no tópico a seguir). Além disso, essas inspeções devem ser realizadas em situações especiais, como quando a inspeção visual sensitiva revelar defeitos importantes na estrutura do ativo, após condições adversas como excesso de chuvas, alagamentos, antes e durante a passagem de cargas excepcionais, incêndios, choques laterais e acidentes ferroviários.

As inspeções detalhadas deverão ser apropriadas por ativo, constando o km inicial e o km final, lado da ferrovia, data de sua realização e responsável (s) pela mesma. Deverá ser aberta OS no sistema SAP, conforme definido na Estratégia de Manutenção. De acordo com o DocTec 11333 são tarefas da inspeção detalhada observar, relatar e quantificar os seguintes itens, mas não se limitando a estes:

- O estado de conservação dos taludes de corte e aterro;
- Trincas, bolsões e recalques na plataforma.
- Surgências de água;
- Existência de erosão;
- Ponto de fuga de material;
- Talude negativo;
- Presença de fraturas em rocha;
- Levantamento dos quantitativos dos serviços de recuperação dos dispositivos de drenagem danificados;
- Levantamento dos quantitativos de materiais a serem retirados dos dispositivos de drenagem;
- Levantamento quantitativo dos serviços de roçada;
- Levantamento de vegetação arbórea a ser suprimida (serviço de poda);
- Levantamento de quantitativo de serviços corretivo nos dispositivos de drenagem, taludes de corte ou aterro, etc.;
- Levantamento de quantitativo de serviços corretivo nas obras de contenção, caso existam.

Essas inspeções se procedem de forma manual, e as características a serem avaliadas foram definidas previamente pela área de engenharia e confiabilidade da EFVM. Para equalização dos inspetores, foi padronizado o modelo da ficha de inspeção detalhada, para cada tipo particular de ativo de infraestrutura, com todos os itens que deverão ser levantados durante a realização da mesma. Para ativos de corte, aterro e bueiro a inspeção deve proceder o roteiro conforme ficha de inspeção definida na figura 31.

Fazendo uma comparação entre as fichas de cadastro e inspeção rotineira apresentadas nas figuras 30 e 31, as diferenças encontradas são basicamente pelos tipos de dados solicitados em cada uma, uma vez que a ficha de cadastro possui informações referentes a localização e características iniciais do ativo. Já a ficha de inspeção rotineira possui informações relacionadas ao estado atual do ativo, solicita informações sobre quantitativos de serviços de manutenções a serem realizados, e também direciona a urgência dos serviços necessários, verificando a necessidade estudos mais aprofundados, ou não.

Figura 31 – Ficha de inspeção Ativos de Infra da EFVM

Ficha de Inspeção de Ativos Infra						
Data de Inspeção	Inspetoria	Responsável pela Inspeção		CORTE	ATERRO	BUEIRO
KM INÍCIO	KM FIM	LADO	RAMAL	ENTRE HOUSE		
Foi possível inspecionar o ativo? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Parcialmente						
Motivos: <input type="checkbox"/> Falta de acesso <input type="checkbox"/> Seção Insuficiente / Obstrução <input type="checkbox"/> Excesso de vegetação <input type="checkbox"/> Outros: _____						
<u>Talude Corte / Aterro</u>						
Existe histórico de anomalias nesse ativo? <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Sim: <input type="checkbox"/> Defeito <input type="checkbox"/> Restrição <input type="checkbox"/> Problema Estrutural <input type="checkbox"/> Interdição <input type="checkbox"/> Outros						
Existe pontos de fissura ou trinca no ativo? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não						
Existe erosão? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não Qual a sua condição? <input type="checkbox"/> Estabilizada <input type="checkbox"/> Ativa Dimensão: <input type="checkbox"/> Pequena (prof. Até 2 m) <input type="checkbox"/> Grande (prof. Acima 2m)						
Distância da instabilidade em relação a via: <input type="checkbox"/> Até 5m <input type="checkbox"/> Entre 5 e 10 m <input type="checkbox"/> Acima de 10 m						
Existe pontos de fuga de material na plataforma? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não Existe talude negativo em solo? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não						
Existe pontos de surgência de água? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não Existe blocos de rocha instáveis? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não						
Condição da cobertura vegetal? <input type="checkbox"/> Solo exposto <input type="checkbox"/> Esparsa <input type="checkbox"/> Densa						
<u>Bueiro</u>						
Existe histórico de anomalias nesse ativo? <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Sim: <input type="checkbox"/> Defeito <input type="checkbox"/> Restrição <input type="checkbox"/> Problema Estrutural <input type="checkbox"/> Interdição <input type="checkbox"/> Outros						
Existe pontos de fissura ou trinca no ativo? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não						
O bueiro encontra-se recalçado / deslocado? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não						
O corpo do bueiro esta obstruído / assoreado: <input type="checkbox"/> Totalmente <input type="checkbox"/> Parcial abaixo 50% <input type="checkbox"/> Parcial acima 50%						
O bueiro encontra-se com pontos de corrosão? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não						
<u>Serviços de manutenção em corte / aterro / bueiro</u>						
Necessidade de Manutenção? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não						
Serviços de manutenção a serem realizados:						
Corte de árvores (uni): _____ Roçada (m²): _____ Capina (m²): _____						
Limpeza de drenagem (m): plataforma: _____ banquetas: _____ crista: _____ berma: _____						
Limpeza de barreira (m²): _____						
Limpeza do Corpo do Bueiro (m³): _____ Limpeza de Caixa (m³): Montante _____ Jusante _____						
Limpeza de Vala (m³): Montante _____ Jusante _____						
Necessidade de intervenção: <input type="checkbox"/> Imediato <input type="checkbox"/> até 6 meses <input type="checkbox"/> até 1 ano <input type="checkbox"/> acima 1 ano						
Existe condição de risco estrutural no ativo? <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não Risco relacionado a: <input type="checkbox"/> Segurança Operacional <input type="checkbox"/> Segurança da Comunidade <input type="checkbox"/> Meio Ambiente <input type="checkbox"/> Inundação da via						
Necessidade de estudo? <input type="checkbox"/> NA <input type="checkbox"/> Sondagem <input type="checkbox"/> Topografia <input type="checkbox"/> Monitoramento <input type="checkbox"/> Projeto <input type="checkbox"/> Outros						
Necessidade de Obra? <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Sim: <input type="checkbox"/> até 1 ano <input type="checkbox"/> Acima de 1 ano						
<u>Observações:</u>						

Fonte: Acervo Vale (2018).

Até meados de 2018, a inspeção na EFVM era feita com a ficha de papel impressa em mãos, o que se caracterizava por ser um processo moroso, uma vez que o inspetor tinha que digitar esses dados no computador, para depois lançar no sistema de gestão

de ativos. Para otimizar esse processo, a Vale está desenvolvendo e já implantando o sistema *ValeForms*, no qual a ficha de inspeção foi formatada no padrão de formulários em um *tablet*, sendo que cada ativo possui o seu respectivo formulário de inspeção (figura 32). Cada inspetor de infraestrutura recebeu o seu *tablet* para a realização das inspeções de rotina (figura 33), entre os meses de setembro e outubro de 2018. Com essa melhoria será possível a automatização da transferência de informações para o banco de dados, a comparação de levantamentos anteriores, e a criação de um banco de dados de fotos dos ativos inspecionados. Desta forma, o inspetor levará o *tablet* ao campo e procederá a inspeção através dele, agilizando todo o processo. Outra grande melhoria a distinção entre as fichas de corte e aterro, uma vez que são ativos com aspectos construtivos bem distintos.

Figura 32 – Interface do Sistema ValeForms em que são apresentados os formulários de inspeção de ativos

The screenshot displays the 'Formulários' (Forms) section of the ValeForms system. It features a blue header with the title 'Formulários'. Below the header, there is a section titled 'Tipos de Formulários' (Types of Forms) with a sub-label 'VP Infra'. A list of forms is presented, each with a title and a description:

- CAD Bueiro**
Formulário para cadastro de novos ativos tipo Bueiro [id: 812]
- CAD PN**
Formulário para cadastro de novos ativos tipo Passagem em Nível (
- CAD Talude**
Formulário para cadastro de novos ativos tipo talude (corte e aterro)
- INSP Aterro**
Formulário de inspeções em ativos tipo Aterro [id: 592]
- INSP Bueiro**
Formulário de inspeções em ativos tipo Bueiro [id: 526]
- INSP Corte**
Formulário de inspeções em ativos tipo Corte [id: 880]
- INSP PN**
Formulário de inspeções em ativos tipo Passagem em Nível (PN) [id

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 33 – Treinamentos dos inspetores no tablet e inspeção sendo realizada através de formulário do Sistema ValeForms em 10 de outubro de 2018



Fonte: Elaborado pela autora.

Após o levantamento e cadastro dos dados, são priorizados os pontos com as piores condições para serem tratados com manutenções, principalmente corretivas. Esse cenário acontece devido à grande quantidade de pontos que necessitam intervenções, e adequações às condições orçamentárias anuais. Os critérios para a priorização das intervenções de manutenção são baseados, na percepção do inspetor local para abrangência de seu trecho, e a área de confiabilidade de infra compara cada ativo para toda a ferrovia a fim de hierarquizá-los e priorizar os pontos de intervenção.

Muitas ocorrências e falhas de causa “infra” ocorreram ao longo dos anos, bem como diversas intervenções de obras a fim de restabelecer a operacionalidade dos ativos, mas percebeu-se que não existe rotina definida para o registro detalhado desses eventos, o que caracterizaria o inventário de ocorrências dos ativos. Entende-se que a adoção dessa prática será de grande valia para auxílio na definição de soluções de problemas futuros, bem como para manter uma base adequada das intervenções já realizadas, onde a equipe de manutenção poderia consultar problemas ocorridos e verificar recorrência, além de verificar se soluções já implantadas são eficientes, entre outros.

4.5 ESTRATÉGIA DE MANUTENÇÃO EM TALUDES

Conforme definido no DocTec 11333 VALE (2015), a estratégia de manutenção define os indicadores que serão monitorados, e um conjunto de ações de manutenção para cada ativo e seus componentes de forma a sustentar o desempenho requerido e a integridade das instalações, das pessoas e do meio ambiente.

Na EFVM as inspeções são as atividades consideradas essenciais dentro de todo o sistema de gestão de ativos. Para taludes de corte e aterro, a estratégia de manutenção define a periodicidade com que as inspeções devem ser realizadas, sendo que ativos criticidade A devem ser inspecionados 2 vezes ao ano, ativos criticidade B devem ser inspecionados 1 vez ao ano, e ativos criticidade C devem ser inspecionados 1 vez a cada dois anos. A tabela 11 apresenta a frequência definida para as inspeções em ativos de infraestrutura, conforme a Estratégia de Manutenção.

TABELA 11 – PERIODICIDADE DAS INSPEÇÕES NA EFVM

Criticidade	Inspeções	
	ID	IVS
A	2 / ano	Período chuvoso: 2 / mês; Não chuvoso: 1 / mês
B	1 / ano	
C	1 vez a cada 2 anos	

Fonte: Elaborada pela autora modificado de Vale (2015).

Com relação a manutenção de ativos de corte e aterro, a estratégia se baseia na condição observada na inspeção, sendo que serão priorizados e acompanhados via sistema de gestão SAP os serviços de limpeza de drenagens (canaletas de banquetas e plataforma e valetas de crista) dentre os muito necessários a integridade do ativo. Considera-se os valores de 50% de assoreamento das drenagens como fator preponderante do direcionamento das equipes de manutenção para as realizações dos serviços necessários aos ativos nessas condições.

Para os ativos de infraestrutura da EFVM, em sua maioria, foi observado que as manutenções são com base nas condições do ativo, ou ainda acontecem após a falha do mesmo, caracterizando a manutenção como corretiva e/ou preventiva, sendo que a manutenção preditiva não é observada. Após os serviços necessários serem identificados através das inspeções, esses dados são cadastrados, tratados e priorizados conforme a Estratégia de Manutenção, sendo as equipes de manutenção direcionadas para esses locais a fim de executarem suas atividades. Para os taludes da EFVM as atividades de manutenção desempenhadas pelas equipes de campo são definidas como preventiva e corretiva.

No DocTec 11333 Vale (2015), são definidas como tarefas da equipe de manutenção preventiva realizar os serviços de: limpeza dos dispositivos de drenagem: canaletas plataforma e banquetas, valetas de crista, descidas d'água, caixas coletoras, entre outros; roçada de vegetação herbácea e retirada de vegetação arbórea; limpeza de drenos sub-horizontais profundos; bate choco em taludes rochosos; remoção de lixo e entulhos; revegetação; e implantação de pequenas obras com caráter preventivo como modificação na geometria de taludes a favor da estabilidade e drenagens diversas tipo canaletas e descidas d'água.

O DocTec 11333 Vale (2015) define tarefas da equipe de manutenção corretiva: obturação com calda de cimento das trincas nos taludes; remoção de barreiras; remoção de blocos rochosos caídos sobre a plataforma; reconstrução de dispositivos de drenagem; redirecionamento das águas pluviais; conformação manual de talude; retaludamento mecanizado; remoção de vegetação arbórea sobre a linha férrea; implantação de obras de engenharia em ativos que falharam.

4.6 GESTÃO DE RISCOS NA INFRAESTRUTURA DA EFVM

Como já abordado nos itens 2.2 e 2.3 desta dissertação, existem diversas estratégias e boas práticas relacionadas ao tema Gestão de Ativos em projetos lineares, da qual a Gestão do Risco é fundamental.

A gestão do risco na EFVM é feita através de sistema próprio onde estão mapeados os principais riscos inerentes as operações da ferrovia. Iniciou-se com a identificação, definição das medidas de controle, ações necessárias e acompanhamento sistemático destas, objetivando eliminar ou mitigar os riscos mapeados. Esse trabalho suporta a defesa e priorização de investimentos plurianuais, sendo considerado primordial devido a importância do tema.

Conforme diagnosticado por Alves (2012), verifica-se que somente após um deslizamento e a consequente interdição de um trecho é que são tomadas providências para a estabilização dos taludes. A fim de se evitar que isso aconteça e organizar/estruturar as medidas tomadas pela EFVM para a efetiva gestão de risco de deslizamento de terras, decidiu-se correlacionar a estratégia adotada pela ferrovia com a estratégia proposta em Undro (1991), devido a simplicidade e facilidade de compreensão desta.

Após a constatação de que a postura frente a gestão de risco em infraestrutura na EFVM é proativa, se faz necessário o apontamento de todas as medidas e ações tomadas pela empresa no que se refere a estratégia para o gerenciamento de risco em seus ativos:

- Identificação e análise de riscos: englobada pela gestão de ativos, os processos estabelecidos e padronizados cujo protagonista é a inspeção dos ativos, propiciam a identificação dos pontos mais críticos a serem tratados, e a partir destes, são definidas ações e controles necessários a eliminar ou minimizar os riscos encontrados;
- Ações não estruturais de redução de risco: criação de planos preventivos, de monitoramentos e de atendimento a emergências, como: (a) Cumprimento da Estratégia de Manutenção definida para taludes, quer seja com as inspeções,

quer seja com a realização das manutenções preventivas propriamente ditas; (b) acompanhamento dos dados coletados nas inspeções de campo, priorizando ações de revisita aos pontos problemáticos para definição de medidas a serem implantadas; (c) implantação de sistemas de alertas de deslizamento de terra via fibra ótica e sistemas de monitoramento da movimentação dos taludes críticos: em teste/ desenvolvimento; e (d) definição da área de Socorro Ferroviário e procedimentos para o atendimento a emergências.

- Ações estruturais de redução de riscos: através da defesa e priorização de investimentos plurianuais para: (a) implantação de obras de integridade estrutural como contenções diversas, drenagens e retaludamento; e (b) mudança na geometria da via permanente com o afastamento da mesma para longe dos taludes problemáticos (em casos específicos).
- Informações e treinamentos aos colaboradores: através de treinamentos aos inúmeros colaboradores que trabalham ao longo da ferrovia, são divulgados todos os anos, antes do período chuvoso, informativos com imagens esclarecedoras referentes à início de processos erosivos, abatimento na plataforma, alagamentos, carreamento de material para cima da plataforma, entre outros, a fim de que todos estejam aptos a identificarem esses processos instabilizadores no início de sua evolução. Com a confirmação da condição de risco, são acionadas equipes especializadas para o tratamento e definição das medidas restritivas necessárias até o restabelecimento da condição segura.
- Planejamento para emergências: há uma estrutura que abrange todas as gerências da EFVM designada para atendimento dos acidentes ferroviários, denominada de Socorro Ferroviário. Toda vez em que um incidente acontece essa estrutura entra em ação, atuando para liberar a ferrovia e restabelecer a circulação de trens. Os colaboradores que atuam nessas ocorrências são de diversas áreas, como gerência de Vagões, Locomotivas, Máquinas de Via, Via Permanente, Saúde e Segurança, Relações com a Comunidade, entre outras, que unem suas forças a fim de que os trabalhos necessários ocorram com a maior presteza e segurança possíveis. Nesses trabalhos são utilizados equipamentos de pequeno e grande porte, materiais de via diversos, bem como há uma logística e planos de ações bem estruturados para atendimento do

momento de emergência. De acordo com o tamanho do incidente, profissionais de áreas matriciais também são envolvidos quando necessário, como psicólogos, assistente social e advogados, entre outros.

4.7 CONSIDERAÇÕES GERAIS CAPÍTULO 4

A falta de métodos e parâmetros para a definição da criticidade expõe uma carência latente hoje na EFVM. Pode-se não estar monitorando com a frequência adequada ativos críticos, e o contrário também é válido, ativos com menor necessidade de monitoramento podem estar sendo inspecionados além da necessidade, gastando recursos da companhia e expondo colaboradores a riscos de acidentes com os deslocamentos de carros.

Constata-se que muitas melhorias vêm sendo implementadas desde 2017, sendo a primeira delas a revisão das fichas de inspeção com a distinção entre ficha de cadastro e ficha de inspeção rotineira. A implantação do sistema ValeForms e o uso do tablet possibilitaram, além de rapidez na execução da tarefa de inspeção e transferência de dados, a captura e armazenamento de fotos dos problemas detectados no ato da inspeção em sistema unificado.

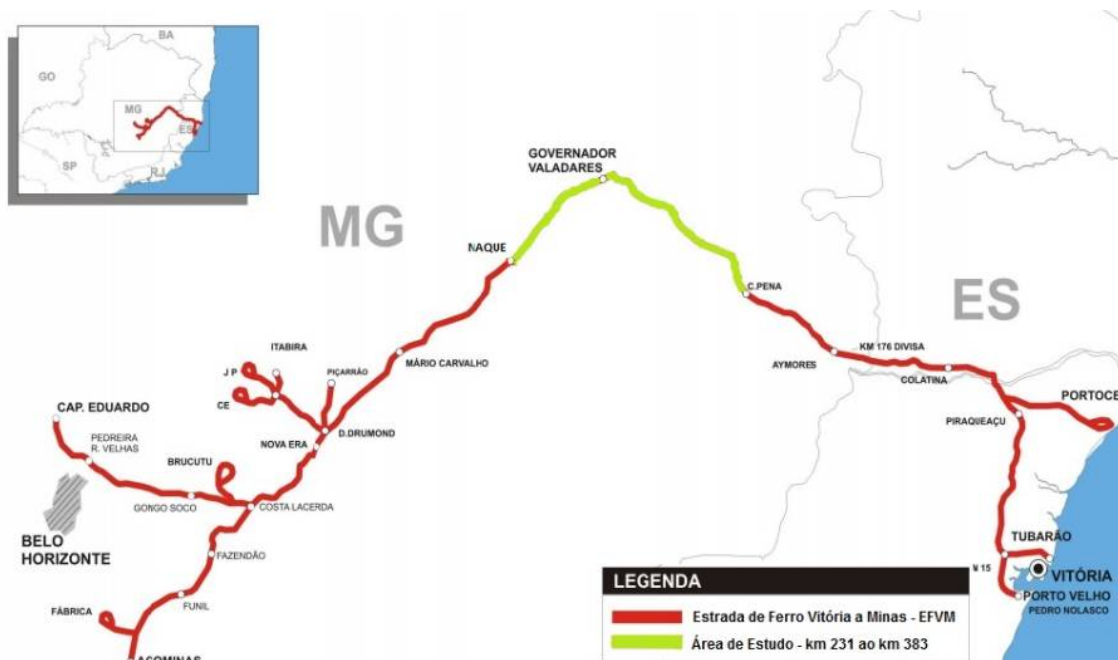
No entanto, uma limitação percebida foi o fato dos ativos avaliados serem de grande extensão, alguns com mais de 3 quilômetros de extensão, o que levou à avaliação da região considerada mais restritiva no momento da análise. Essa análise expõe a necessidade de se subdividir um ativo em trechos a fim de setorizar a inspeção em tipologias do solo ou rocha pré-definidas.

A Estratégia de Manutenção definida atualmente para ativos do tipo corte considera a condição de 50% de assoreamento das drenagens para direcionar as equipes de manutenção para o local. Sabe-se que esta definição não leva em conta a criticidade do ativo e que as manutenções realizadas são mais corretivas do que preventivas, sendo necessário desenvolver a estratégia e definir critérios para o cruzamento da condição do ativo com a criticidade, e assim priorizar as intervenções necessárias.

5 REGIÃO DE ESTUDO: TRECHO DA EFVM, SUDESTE DO BRASIL

A fim de se delimitar a região de estudo em um único e experiente inspetor, escolheu-se o trecho ferroviário entre os km 232+200 ao km 383+615 da linha tronco da EFVM, na região Sudeste do Brasil. Nesse trecho, a ferrovia passa entre as cidades de: Resplendor, Conselheiro Pena, Tumiritinga, Governador Valadares, Periquito e Naque, todas no Estado de Minas Gerais, conforme figura 34. Ao longo desses 151,415 quilômetros de ferrovia estudados foram mapeados 167 taludes do tipo corte. Conforme já esclarecido no item 4.3, esses ativos são classificados em criticidade A B ou C, e esse trecho apresenta de acordo com a classificação do inspetor local 13 taludes de corte classificados como criticidade A, 31 taludes de corte classificados como criticidade B, e 123 classificados com criticidade C.

Figura 34 – Delimitação do trecho avaliado



Fonte: Modificado de ANTT (2013).

A fim de verificar as informações contidas nas fichas de inspeção e para a avaliação geral da condição atual dos ativos estudados foram realizadas visitas a campo nesses taludes. As percepções dessas visitas bem como as fotos e informações relevantes desses ativos são apresentadas no item 5.1.2.

5.1 CONTEXTUALIZAÇÃO GEOLÓGICA DA EFVM

Gomes (2014), em relatório técnico elaborado para a EFVM sobre a Setorização Geológico-Geotécnica da via como um todo, de acordo com as campanhas de inspeções em campo, propôs que a linha tronco fosse subdividida em 4 grandes trechos, a saber:

- Trecho I: compreendido entre os quilômetros 0 e 192;
- Trecho II: compreendido entre os quilômetros 193 e 315;
- Trecho III: compreendido entre os quilômetros 316 e 430;
- Trecho IV: compreendido entre os quilômetros 431 e 540.

Sendo assim, o trecho estudado neste trabalho está compreendido entre os trechos II e III do trabalho de Gomes (2014), cujos resultados sobre litologia e pedologia são apresentados a seguir.

5.1.1 Litologia

Devido à grande complexidade litológica regional, Gomes (2014) adotou uma sistemática de simplificação para caracterização das litologias-tipo (litologias dominantes), objetivando uma representação mais dinâmica e prática ao longo da faixa de domínio da via (buffer de 500m).

De acordo com esse estudo, as litologias-tipo presentes na via são: *granitos, gnaisses, gnaisses com intrusivas máficas, rochas metassedimentares com presença de intrusões graníticas, xistos e gnaisses e sedimentos inconsolidados*. A tabela 12 apresenta, de forma compilada, as distribuições litoestratigráficas ao longo dos trechos II e III da ferrovia, editado por Silva (2017) através de Gomes (2014), uma vez que estes são objeto de estudo deste trabalho.

TABELA 12 – LITOLOGIAS TIPO DA EFVM

Trecho	Unidade Litoestratigráfica	Litologia-tipo	Municípios que o trecho atravessa
Trecho II	Tonalito Galiléia	Gnaisses com intrusivas máficas	Aimorés até Governador Valadares, passando por Itueta, Resplendor, Conselheiro Pena e Tumiritinga, todos localizados no estado de Minas Gerais
	Formação São Tomé	Xistos e gnaisses	
	Granito Córrego da Onça	Granitoides	
	Terraços Aluviais	Sedimentos inconsolidados	De Governador Valadares até Ipatinga, passando por Periquito / Açucena, Naque, Belo Oriente e Santana do Paraíso/Ipaba, todos municípios de Minas Gerais
	Aluviões	Sedimentos inconsolidados	
	Formação Tumiritinga	Xistos e gnaisses	
	Tonalito Derribadinha	Granitoides	
	Complexo Mantiqueira	Gnaisses	
	Complexo Mantiqueira	Gnaisses	
Trecho III	Tonalito Derribadinha	Granitoides	
	Terraços Aluviais	Sedimentos inconsolidados	
	Aluvião	Sedimentos inconsolidados	

Fonte: Elaborada pela autora, com modificações de Gomes (2014).

Os granitos são rochas ígneas de granulometria fina, média ou grossa, composta essencialmente por quartzo, além de mica e feldspato, e apresentam-se quase sempre sem estruturas internas, duro e altamente resistente, sendo, por estes atributos, comumente empregado em obras de construção civil (ALVES, 2014). Os gnaisses são rochas resultantes dos processos metamórficos de alteração de sedimentos arcóseos ou de granitos. Sua composição é bastante variável, contendo

mais de 20% de feldspato potássico, plagioclásio, quartzo e biotita, evidenciando, assim, uma natureza essencialmente quartzo-feldspática.

Ainda de acordo com Alves (2014), os maciços compostos por xistos e gnaisses são os menos resistentes, pois a intercalação entre esses dois tipos rochosos é de ordem decamétrica. A composição dos xistos leva estas rochas a tornarem-se pouco resistentes, pois apresentam grande quantidade de filossilicatos em sua composição, que são minerais facilmente deformáveis seja em estrutura, seja em composição química. Como o gnaiss, apresenta minerais do grupo das micas em sua composição, além de feldspatos altamente intemperizados. Sedimentos inconsolidados são, de maneira geral, representados pelos taludes compostos por solo, sejam eles de origem aluvionar ou coluvionar. Os mapas da litologia obtidos para os trechos II e III, a partir do estudo de Alves (2014), estão apresentados no Anexo A desta dissertação.

5.1.2 Pedologia

Em relação a pedologia, na faixa de domínio estabelecida para a via, foram definidas sete classes pedológicas, conforme Alves (2014), sendo elas: Latossolos; Areias Quartzosas; Solos Aluviais; Podzol; Gleissolos; Solos Litólicos e Afloramentos de Rocha. Nos trechos II e III encontramos as seguintes classes:

Latossolos são solos constituídos por material mineral, não-hidromórficos, profundos (mais que 2m) e horizonte B espesso. A sílica (SiO_2) e as bases trocáveis (em particular Ca, Mg K e) são removidas do sistema, levando ao enriquecimento do solo com óxidos de ferro e de alumínio que são agentes agregantes, dando à massa do solo aspecto maciço poroso. Por vezes, são classificados como solos de baixa susceptibilidade à erosão, devido ao seu comportamento laterítico, caracterizado pela quantidade considerável de argilominerais e óxidos de ferro e alumínio, disponíveis de forma que, ao serem liberados em processos físico-químicos, atuam como agentes cimentantes entre as partículas de solo. Entretanto, quando esses solos apresentam teores elevados de areia, tendem a ser muito similares às areias quartzosas, sendo

muito suscetíveis à erosão e necessitando de adoção de técnicas de estabilização apropriadas.

Solos Podzólicos ou Espodossolos são os solos mais presentes no trecho estudado. São solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B espódico. São solos de textura predominantemente arenosa, podendo apresentar textura média e raramente argilosa (tendente para média ou siltosa) no horizonte B. Variam de pouco até muito profundos, com presença de um horizonte E altamente friável. Também são propensos a erosões sérias quanto maiores forem as declividades do terreno.

Afloramentos de rochas são exposições de maciços rochosos presentes em taludes da via, nos quais não há eventos erosivos por se tratar de material consolidado. Os mapas de pedologia tipo do trecho II e III, definidos no estudo de Alves (2014), estão apresentados no Anexo B desta dissertação. Para a confecção do mapa pedológico do domínio da via, a pesquisadora utilizou o mapa pedológico do Brasil disponibilizado no site da Embrapa, na escala 1:5. 000.000, que foi refinado com base nas observações obtidas nas inspeções de campo.

5.2 CARACTERIZAÇÃO GERAL DOS ATIVOS GEOTÉCNICOS DE CORTE DEFINIDOS COMO CRITICIDADE A

Neste item são apresentadas as análises dos 13 ativos definidos com criticidade A pelo inspetor de infraestrutura do trecho analisado. Optou-se por caracterizar e visitar estes devido ao fato de serem os mais visados e com rotina de inspeção programada de 6 em 6 meses. Na tabela 13 estão listados os 13 ativos, que são identificados no sistema de gestão Vale pelo seu km de início e lado em relação a ferrovia.

TABELA 13 – LOCALIZAÇÃO E EXTENSÃO DOS ATIVOS CRITICIDADE A DEFINIDOS PELO INSPETOR DE INFRAESTRUTURA DA EFVM

Criticidade Inspetor	ATIVO			
	Lado ferrovia	km Início	km Fim	Extensão (m)
A	LE	239+000	240+110	1.110
	LE	240+250	241+200	950
	LE	241+430	242+260	830
	LE	246+350	247+520	1.170
	LD	257+900	258+250	350
	LE	259+250	260+800	1.550
	LE	303+300	305+280	1.980
	LD	333+620	337+040	3.420
	LD	342+730	343+200	470
	LD	343+700	343+950	250
	LD	360+300	361+150	850
	LE	361+710	363+000	1.290
	LD	363+270	366+520	3.250

Fonte: Elaborado pela autora.

Nota: os lados da ferrovia são orientativos para as pessoas que trabalham ao longo da via. Para diferencia-los basta de posicionar na ferrovia de costas para Vitória, com olhar na direção de Belo Horizonte. O lado direito (LD) da ferrovia será o que está o nosso braço direito. O lado esquerdo (LE) da ferrovia será aquele em que está o nosso braço esquerdo.

5.2.1 Ativo do km 239+000 LE

O talude apresenta 1.110 m de extensão, constituído em quase sua totalidade por sedimentos inconsolidados e cambissolo, apresenta vegetação de grande porte esparsa, está afastado a 3 m da ferrovia em sua parte mais restritiva, possui altura superior a 30 m e inclinação acima de 60°. Há histórico de deslizamento de terra e são observadas erosões superficiais no km 239+900 do ativo, onde foi implantada mureta baixa de contenção de sedimentos em concreto (figura 35). Em casos de movimentação o talude poderá afetar a ferrovia, apresentando necessidade de implantação de obra de estabilização e revegetação. Não foram observadas ocorrências de água no talude. De acordo com a percepção do inspetor local o ativo

deve continuar com criticidade A e sua parte mais crítica está situada entre os km 239+800 ao 240+050, onde são observadas erosões superficiais e o solo está exposto (figura 36).

Figura 35 – Árvores de grande porte com risco de queda sobre a ferrovia e mureta de contenção de sedimentos



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 36 – Erosões superficiais e solo exposto, favorecendo o carreamento de material para cima da plataforma ferroviária, no ativo km 239+000 LT



Fonte: Elaborado pela autora.

5.2.2 Ativo do km 240+250 LE

O talude apresenta 950 m de extensão, constituído em sua totalidade por sedimentos inconsolidados e cambissolo, apresenta vegetação rasteira e árvores de grande porte esparsa (figura 37), está afastado a 3 m da ferrovia em sua parte mais restritiva, possui altura superior a 30 m e inclinação variando de 30° a 60°. Há histórico de deslizamento de terra sem afetar a ferrovia e são observadas erosões no km 241+120 do ativo. Apresenta necessidade mínima de implantação de dispositivos de drenagem e/ou mureta de contenção de sedimentos. Não foram observadas ocorrências de água no talude. Corte considerado estável pela inspetoria responsável, podendo sua classificação ser modificada para criticidade B.

Figura 37 – Vegetação presente ao longo do ativo corte km 240+250 LE



Elaborado pela autora.

5.2.3 Ativo do km 241+430 LE

Este talude apresenta 830 m de extensão, constituído em quase sua totalidade por sedimentos inconsolidados e solo podzólico vermelho-escuro. Apresenta vegetação de grande porte esparsa em pequeno trecho, sendo a maior parte do corte constituída por vegetação rasteira, está afastado a 4 m da ferrovia em sua parte mais restritiva, possui altura superior a 30 m e inclinação variando de 30° a 60°. Há histórico de deslizamento de terra no km 241+650 do ativo, onde foi implantada mureta baixa de contenção de sedimentos feita de trilhos e dormentes (figura 38). Apresenta necessidade de implantação de dispositivos de drenagem. Não foram observadas ocorrências de água no talude. Corte considerado estável pela inspetoria responsável, podendo sua classificação ser modificada para criticidade B.

Figura 38 – Vegetação e muro de trilho e dormentes no km 241+650 LE



Fonte: Elaborado pela autora.

5.2.4 Ativo do km 246+350 LE

Ativo considerado estável pelo inspetor responsável, podendo sua classificação ser alterada para criticidade B. Este talude de corte apresenta 1.170 m de extensão, constituído em quase sua totalidade por solo podzólico vermelho-escuro com algum afloramento de xistos e gnaisses. Atravessa perímetro urbano e apresenta vegetação rasteira (figura 39), com árvores de grande porte esparsas. Está afastado a 4,5 m da ferrovia em sua parte mais restritiva, possui altura estimada entre 20 a 30 m e inclinação variando de 30° a 60°. Não foram observadas ocorrências de água no talude em todas as inspeções realizadas.

Figura 39 – Perímetro urbano de Resplendor e vegetação ao longo do ativo corte km 246+350 LE



Fonte: Elaborado pela autora.

5.2.5 Ativo do km 257+900 LD

Este talude apresenta 350 m de extensão, constituído em quase sua totalidade por sedimentos inconsolidados e solo podzólico vermelho-escuro. Apresenta vegetação de grande porte esparsa em pequeno trecho, sendo a maior parte do corte constituída por solo exposto, está afastado a 3,1 m da ferrovia em sua parte mais restritiva, possui

altura entre 10 a 20 m e inclinação variando de 30° a 60°. Há histórico de carreamento de material frequente para cima da linha e o talude apresenta sulcos de erosões (figura 40). Apresenta necessidade mínima de implantação de dispositivos de drenagem e recuperação das erosões com bioengenharia. Não foram observadas ocorrências de água no talude. Corte considerado estável pela inspetoria responsável, podendo sua classificação ser modificada para criticidade B.

Figura 40 – Solo exposto e erosões presentes ao longo do ativo corte km 257+900 LD



Fonte: Elaborado pela autora.

5.2.6 Ativo do km 259+250 LE

O talude apresenta 1.550 m de extensão, constituído em sua totalidade por sedimentos inconsolidados e solo podzólico vermelho-escuro, apresenta vegetação de grande porte esparsa, está afastado a 3,9 m da ferrovia em sua parte mais restritiva, possui altura superior a 30 m e inclinação variando de 30° a 60°. Há histórico de deslizamento de terra afetando a ferrovia e já foram realizadas obras preliminares de estabilização, com muros de contenções e redirecionamento das águas pluviais

com descida d'águas (figura 41), e novas intervenções estão sendo realizadas. Apresenta necessidade de implantação de dispositivos de drenagem, mureta de contenção de sedimentos e estabilização do maciço. Foram observadas ocorrências de água no talude. Corte considerado instável pela inspetoria responsável, devendo sua classificação ser mantida como criticidade A.

Figura 41 – Obras de muro de contenção de sedimentos (muro pulmão) e descida d'água realizadas ao longo do ativo de corte do km 259+250 LD



Fonte: Elaborado pela autora.

5.2.7 Ativo do km 303+300 LE

O talude apresenta 1.980 m de extensão, constituído em quase sua totalidade por solo podzólico vermelho-escuro, apresenta vegetação de grande porte esparsa, está afastado a 2,8 m da ferrovia em sua parte mais restritiva, possui altura superior a 30 m e inclinação acima de 60°. Há histórico de carreamento de sedimentos para cima da plataforma ferroviária na região do km 304 + 700 onde foi construída mureta de contenção em placas de concreto e dormentes (figura 42) e queda de blocos rochosos ao lado da linha 2 no km 303+350, local em que a linha foi afastada do corte de rocha. Não foram observadas ocorrências de água superficial no talude. De acordo com a percepção do inspetor local o ativo deve continuar com criticidade A devido a proximidade do corte de rocha com a linha 1 no km 304+100.

Figura 42 – Obras antigas de mureta de contenção em placas de concreto (danificadas) e mureta de dormente



Fonte: Elaborado pela autora.

5.2.8 Ativo do km 333+620 LD

O ativo apresenta 3.420 m de extensão, constituído em sua totalidade por podzólico vermelho-escuro e vermelho-amarelo, está afastado a 4 m da ferrovia em sua parte mais restritiva, possui altura superior a 30 m e inclinação superior a 60°. Localizado em sua parte inicial na área urbana de Governador Valadares/MG, e a partir do km 334+100 apresenta vegetação de grande porte esparsa. Há histórico de deslizamento de terra e são observadas erosões no km 334+165 do ativo, local aonde foram cravados trilhos para posterior construção de muro de contenção de sedimentos em concreto (figura 43). Não foram observadas ocorrências de água superficial no talude. Corte considerado estável pela inspetoria responsável, podendo sua classificação ser modificada para criticidade B.

Figura 43 – Trilhos cravados pela manutenção para posterior construção de muro de contenção de sedimentos em concreto



Fonte: Elaborado pela autora.

5.2.9 Ativo do km 342+730 LD

Ativo considerado estável pelo inspetor responsável, podendo sua classificação ser alterada para criticidade B. Esse talude de corte apresenta 470 m de extensão, constituído em quase sua totalidade por solo podzólico vermelho-escuro com alguns pontos com afloramento de gnaisses (figura 44). Apresenta vegetação rasteira e está afastado a 5,3 m da ferrovia em sua parte mais restritiva, possui altura estimada maior que 30 m e inclinação maior que 60°. Não foram observadas ocorrências de água no talude.

Figura 44 – Afloramento de rocha no ativo de corte km 342+730 LT



Fonte: Elaborado pela autora.

5.2.10 Ativo do km 343+700 LD

Ativo considerado estável pelo inspetor responsável, podendo sua classificação ser alterada para criticidade B. Esse talude de corte apresenta 250 m de extensão, dentro do perímetro urbano de Baguari/MG, no qual a população vizinha a ferrovia deposita lixo e entulhos a sua margem (figura 45). É constituído em quase sua totalidade por solo podzólico vermelho-escuro (ALVES, 2014) e apresenta vegetação rasteira. Está afastado a 4,05 m da ferrovia em sua parte mais restritiva, possui altura estimada entre 20 a 30 m e inclinação entre 30° a 60°. Não foram observadas ocorrências de água superficial no talude.

Figura 45 – Lixo e entulho depositado ao longo do ativo de corte km 343+700 LT



Fonte: Elaborado pela autora.

5.2.11 Ativo do km 360+300 LD

Talude de corte considerado estável pelo inspetor responsável, podendo sua classificação ser alterada para criticidade B. Esse ativo apresenta 850 m de extensão, constituído em quase sua totalidade por solo podzólico vermelho-escuro e sedimentos inconsolidados. Apresenta vegetação rasteira e está afastado a 4,7 m da ferrovia em sua parte mais restritiva, possui altura estimada maior que 30 m e inclinação entre 30° a 60°. Não foram observadas ocorrências de água no talude. No km 360+500 foi construída no ano de 2015 uma contenção em trilhos e dormentes para retenção de sedimentos carregados pela chuva (figura 46).

Figura 46 – Contenção em trilhos e dormentes para retenção de sedimentos



Fonte: Elaborado pela autora.

5.2.12 Ativo do km 361+710 LE

O talude apresenta 1.290 m de extensão, constituído em quase sua totalidade por solo podzólico vermelho-escuro, apresenta vegetação rasteira, está afastado a 3,3 m da ferrovia em sua parte mais restritiva, possui altura superior a 30 m e inclinação entre 30° a 60°. Não foram observadas ocorrências de água no talude. De acordo com a percepção do inspetor local o ativo pode ter sua classificação alterada para criticidade B. Em dezembro de 2018 foi iniciada uma obra de retaludamento no km 361+700 a fim de recuperar os cortes e eliminar as erosões na face do talude (figura 47), para posterior implantação de revegetação.

Figura 47 – Corte com grandes erosões em sua face antes da obra de retaludamento (1) e após a obra de retaludamento aguardando execução de obras de drenagem e revegetação (2)



Fonte: Elaborado pela autora.

5.2.13 Ativo do km 363+270 LD

O talude apresenta 3.250 m de extensão, constituído em sua totalidade por sedimentos inconsolidados e solo podzólico vermelho-escuro, apresenta vegetação rasteira, está afastado a 4 m da ferrovia em sua parte mais restritiva, possui altura superior a 30 m e inclinação superior a 60°. Há histórico de deslizamento de terra afetando a ferrovia entre o km 366+000 ao km 366+100 (figura 48), mas no momento o local encontra-se estável. Apresenta necessidade de implantação de dispositivos de drenagem e/ou mureta de contenção de sedimentos. Não foram observadas ocorrências de água no talude. De acordo com a percepção do inspetor local o ativo deve continuar com criticidade A.

Figura 48 – Placa do km 366+000 LT: região que no passado apresentou problema de carregamento de material para cima da plataforma ferroviária



Fonte: Elaborado pela autora.

5.3 CONSIDERAÇÕES GERAIS CAPÍTULO 5

O trecho estudado é considerado pelo corpo técnico da ferrovia como uns dos trechos mais regulares e com menores ocorrências de deslizamentos de terra, que poderiam atingir a plataforma ferroviária com consequente paralisação do fluxo de trens. O histórico dessas ocorrências está nos relatórios de falhas da ferrovia e na memória do inspetor, não havendo padrão e nem sistema formalizado para cadastro das mesmas, sendo que essa definição seria de grande valia para a criação do inventário de ocorrências de deslizamentos de terra em ativos tipo talude de corte. Devido a isso, há necessidade de implantar um procedimento para que seja realizada uma inspeção após a ocorrência de um sinistro com o levantamento mínimo dos dados do fato ocorrido, como distância percorrida pelo solo, o tipo de deslizamento, se interditou a ferrovia, se há riscos de novos deslizamentos, volume de terra movimentado, entre

outros; e também seria de grande valia um sistema para cadastro georeferenciado dessas ocorrências, para mapeamento e auxílio em análises futuras.

O perfil litológico ao longo de todo o trecho estudado não varia muito, alterando entre sedimentos não consolidados (aproximadamente 50% do trecho) e gnaisses e xistos. O perfil pedológico varia muito pouco, apresentado em quase sua totalidade o solo podzólico vermelho-escuro, que apresentam essa cor devido aos elevados teores de óxidos de ferro.

Foi constatado também que dos cortes classificados pelo inspetor como criticidade A oito destes quando analisados a fundo pelos especialistas da EFVM e até mesmo pelo próprio inspetor, antes mesmo da aplicação do método AHP, já poderiam ser repriorizados para criticidade B, confirmando a falta de método e parâmetros para a classificação. Devido a isso a importância deste estudo, com o intuito de definir parâmetros para a classificação da criticidade dos ativos através de métodos e indicadores padronizados.

6 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados e discussões, obtidos através do lançamento dos dados conforme descrito no capítulo 3. Os resultados encontrados foram divididos em três etapas. A primeira etapa apresenta as adaptações feitas aos indicadores de suscetibilidade do estudo de Faria (2011) aplicados aos taludes de corte da EFVM, e também a classificação de suscetibilidade encontrada para os 167 taludes estudados. A segunda etapa apresenta os resultados referentes a avaliação da suscetibilidade de acordo com os 4 indicadores definidos pelos especialistas EFVM. A terceira etapa apresenta os resultados do cruzamento da suscetibilidade com o acréscimo do indicador afastamento da via, sugerindo metodologia simplificada para a classificação da criticidade dos ativos estudados.

6.1 ETAPA 1: CLASSIFICAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS CONFORME ESTUDO DE FARIA (2011)

Este item discute as classificações de suscetibilidade dos ativos de corte do trecho estudado, apresentados no capítulo 5, por meio da aplicação do método AHP, conforme pesos e indicadores utilizados por Faria (2011) e adaptados para os ativos geotécnicos tipo corte da EFVM a partir dos dados constantes nas fichas de cadastro e inspeção.

6.1.1 Adaptação das classes dos indicadores de suscetibilidade

Os indicadores de suscetibilidade adotados por Faria (2011) foram definidos com base em referências bibliográficas e trabalho de aquisição de dados em campo. No entanto, para os indicadores altura e declividade, os intervalos de classe foram divididos com base nas características das encostas do local avaliado. Assim, foi necessária a adequação desses indicadores, com o intuito de respeitar as características impostas pelo local de estudo, no caso os ativos de corte do trecho estudado da EFVM.

Para o indicador *altura* alterou-se a faixa delimitada em cada classe uma vez que, com base nas fichas de cadastro, mais da metade os cortes analisados apresentam altura

superior a 10 m. A classe A1 ficou definida como sendo menor que 10m, a classe A2 entre 10m e 20m, a classe A3 entre 20m e 30m e por fim a classe A4 maior que 30m, como mostra a tabela 14.

TABELA 14 – CLASSES DE AMPLITUDE ADAPTADAS QUANTO AS CARACTERÍSTICAS DA EFVM

Variável	Talude de Corte/Bloco Rochoso (Farias, 2011)		Talude de Corte/Bloco Rochoso (Adaptado EFVM)	
	Classe	Peso	Classe	Peso
Amplitude	A<2m	5,69%	A<10m	5,69%
	2m<A<5m	12,19%	10m<A<20m	12,19%
	5m<A<10m	26,33%	20m<A<30m	26,33%
	A>10m	55,79%	A>30m	55,79%

Fonte: Elaborada pela autora.

Para o indicador *declividade* adaptou-se a classe modificada por Ferrão (2016) para talude de corte/bloco rochoso em Vitória – ES. Como a ficha de cadastro divide a análise em 3 faixas, taludes com angulação abaixo de 30°, ângulo entre 30° e 60 ° e taludes acima de 60° de inclinação em relação ao plano horizontal, foi feita a alteração apresentada na tabela 15 e verificado os resultados obtidos.

TABELA 15 – CLASSES DE DECLIVIDADE ADAPTADAS QUANTO AS CARACTERÍSTICAS DA EFVM

Variável	Talude de Corte e Bloco Rochoso (Faria, 2011)		Talude de Corte/ Bloco Rochoso (Ferrão, 2016)		Talude de Corte/ Bloco Rochoso (Adaptado EFVM)	
	Classe	Peso	Classe	Peso	Classe	Peso
Declividade	D<17°	4,35 %	D<17°	4,35 %	D<30°	4,35 %
	17°<D<30°	12,37 %	17°<D<30°	12,37 %	30°<D<60°	12,37 %
	30°<D<60°	27,09 %	D>30°	83,28%	D>60°	83,28%
	D>60°	56,19 %	-	-	-	-

Fonte: Elaborada pela autora.

Para o indicador *uso/cobertura* foi considerado a classe U1 – arbórea para os taludes com vegetação densa, e a classe U2 – arbustiva para os taludes com vegetação esparsa. Não havia parâmetro de avaliação na ficha de inspeção para taludes de corte

com as seguintes classes: U3 - campo/cultura, U4 - áreas urbanas e ainda não foram observadas a classe U5 – solo exposto.

Para o indicador *N.A.* foi utilizado o campo da ficha de cadastro apresentado como presença de água, referindo-se aos pontos de lençol aflorante nas encostas. Como a ficha define para cortes 3 parâmetros, a relação estabelecida ficou conforme tabela 16. Já para o indicador *água superficial* foi padronizado a classe A<1 – concentração baixa para todos os cortes investigados, uma vez que essa variável não é monitorada.

TABELA 16 – CLASSES DE N.A. ADAPTADAS QUANTO AS CARACTERÍSTICAS DA EFVM

Variável	Encostas naturais (Faria, 2011)		Talude de Corte/ Bloco Rochoso (Adaptado EFVM)	
	Classe	Peso	Classe	Peso
N.A.	Surgência	90 %	Fluxo Perene	90%
			Fluxo Ocasional	
	Não observada	10 %	Sem Incidência	10%

Fonte: Elaborada pela autora.

Para o indicador *material* considerou-se o item tipo de material referente da ficha de cadastro, ficando a relação estabelecida conforme tabela 17.

TABELA 17 – CLASSES DE MATERIAL ADAPTADAS QUANTO AS CARACTERÍSTICAS DA EFVM

Variável	Talude de Corte/Bloco Rochoso (Faria, 2011)		Talude de Corte/Bloco Rochoso (Adaptado EFVM)	
	Classe	Peso	Classe	Peso
Material	Solo residual	21,04%	Solo “coesos”	21,04%
	Depósito natural	48,13%	Solo “não coesos”	48,13%
	Rocha alterada	21,04%	Rocha alterada	21,04%
	Rocha sã	9,79%	Rocha sã	9,79%

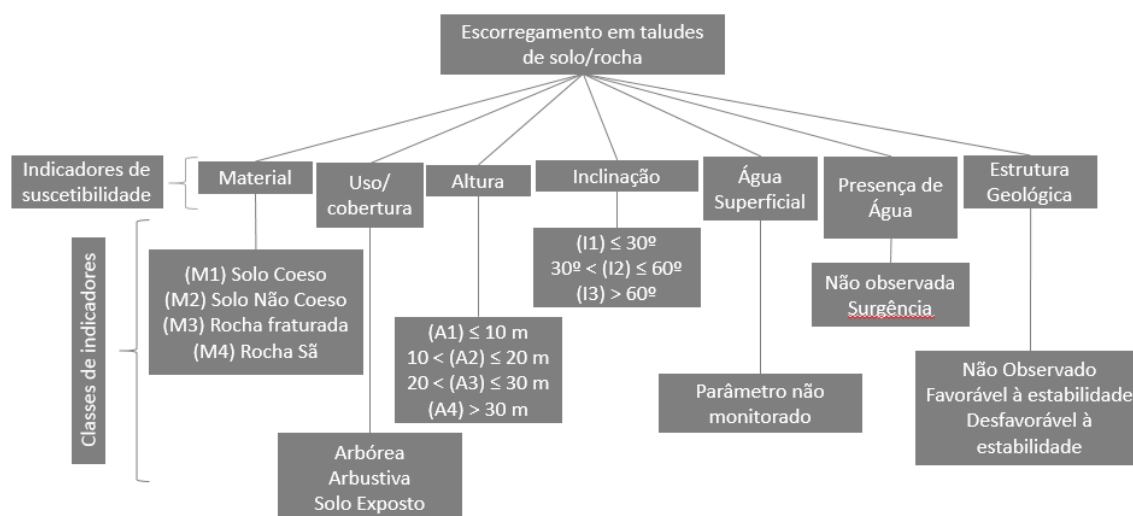
Fonte: Elaborada pela autora.

Para o indicador *estrutura geológica* foram utilizadas combinações entre 3 itens da ficha de inspeção, como: presença de fissuras/trincas e/ou erosão nos cortes de solo, como também o grau de faturamento do maciço nos cortes mistos. Cortes de solo com fissuras/trincas e/ou erosão, bem como ainda cortes de rocha com blocos de rocha

instáveis, foram classificados com a classe E2 – desfavorável a instabilidade. Cortes que não apresentassem esses problemas foram classificados com a classe E1 – favorável a estabilidade.

Após todas essas adaptações, os indicadores e suas respectivas classes ficaram representados conforme figura 49.

Figura 49 – Adequação feita aos indicadores de Faria (2011) para avaliação suscetibilidade dos taludes corte EFVM



Fonte: Modificado de Faria (2011).

6.1.2 Aplicação do Método AHP para avaliação da suscetibilidade

A aplicação do método AHP ocorreu conforme pesos da matriz apresentados na figura 50. Os indicadores adotados foram 7: material do corte, uso/cobertura do solo, altura, inclinação, água superficial, presença de água e estrutura geológica, o que resultou num total de 21 comparações par a par em uma matriz de decisão de ordem 7. A análise de sensibilidade verificada através da obtenção do valor da razão de consistência mostrou coerência e consistência nos julgamentos, obtendo o valor de 5,45%.

Figura 50 – Matriz AHP para avaliação da suscetibilidade de deslizamento de terra

Indicadores de Perigo	Amplitude	Declividade	Uso/Cobertura	Nível d'água	Água Superficial	Material	Estrutura Geológica
Amplitude	1,000	0,500	1,000	0,500	0,500	1,000	0,500
Declividade	2,000	1,000	3,000	1,000	2,000	3,000	2,000
Uso/Cobertura	1,000	0,333	1,000	0,500	1,000	1,000	2,000
Nível d'água	2,000	1,000	2,000	1,000	2,000	2,000	2,000
Água Superficial	2,000	0,500	1,000	0,500	1,000	0,500	2,000
Material	1,000	0,333	1,000	0,500	2,000	1,000	3,000
Estrutura Geológica	2,000	0,500	0,500	0,500	0,500	0,333	1,000
SOMA	11,000	4,167	9,500	4,500	9,000	8,833	12,500

MATRIZ NORMALIZADA									
								SOMA	AUTOVETOR
	0,091	0,120	0,105	0,111	0,056	0,113	0,04	0,636	9,09% Amplitude
	0,182	0,240	0,316	0,222	0,222	0,340	0,16	1,682	24,02% Declividade
	0,091	0,080	0,105	0,111	0,111	0,113	0,16	0,772	11,02% Uso/Cobertura
	0,182	0,240	0,211	0,222	0,222	0,226	0,16	1,463	20,90% Nível d'água
	0,182	0,120	0,105	0,111	0,111	0,057	0,16	0,846	12,08% Água Superficial
	0,091	0,080	0,105	0,111	0,222	0,113	0,24	0,963	13,75% Material
	0,182	0,120	0,053	0,111	0,056	0,038	0,08	0,639	9,13% Estrutura Geológica
	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	7,000	100,00%

n =	7
autovalor (λmáx)	7,4316
Índice de consistência	7,19%
Razão de consistência	5,45% < 10%

Fonte: Modificado de Faria (2011).

De acordo com a figura 50, o indicador com maior peso contributivo ao deslizamento de terra é a declividade, com um percentual relativo de 24,02%, seguido pelo indicador nível d'água, com percentual de 20,90%. Nesse contexto, o indicador que menos contribui para que o deslizamento ocorra é a amplitude, com 9,09%.

6.1.3 Classificação da suscetibilidade nos 167 ativos geotécnicos de corte da EFVM

A tabela de avaliação da suscetibilidade, baseia-se na avaliação de cada ativo estudado com o cruzamento dos pesos obtidos através do AHP. Nessa tabela está presente a identificação do ativo (km de localização na ferrovia), os indicadores de suscetibilidade e a análise da suscetibilidade, apresentados no apêndice A.

A entrada de dados é realizada ao inserir a classe correspondente dos indicadores de suscetibilidade para cada ativo avaliado. As porcentagens expostas ao lado desses valores de entrada, são dadas pela multiplicação entre o peso da classe e o peso do indicador. O somatório destas porcentagens ao final de cada linha define, na última coluna, o valor do índice de suscetibilidade (figura 51).

Figura 51 – Estrutura da planilha de entrada de dados para cálculo do IS

KM INÍCIO LT	MATERIAL DO CORTE		ALTURA		INCLINAÇÃO		PRESENÇA DE ÁGUA		ÍNDICE DE SUSCETIBILIDADE
	VALOR	%	VALOR	%	VALOR	%	VALOR	%	Σ %
1 239+050 LE	Rocha Sã	4,59%	20 < h < 30m	2,73%	i > 60°	19,60%	(NA1) NÃO OBS.	0,93%	27,84%
2 240+250 LE	Solo Coeso	9,91%	h > 30m	5,79%	i > 60°	19,60%	(NA1) NÃO OBS.	0,93%	36,22%
...
...
167 382+360 LE	Solo Não Coeso	20,99%	h < 10m	0,59%	i > 60°	19,60%	(NA1) NÃO OBS.	0,93%	42,11%

Fonte: Elaborada pela autora.

A análise da suscetibilidade compreendeu a determinação do Índice de Suscetibilidade (IS), através de um método estatístico de fatiamento utilizando a expressão $IS = X \pm \Delta/2$, a partir da média aritmética (X) e desvio padrão (Δ). A partir disso, a classificação do perigo foi calculada associando os valores dos índices de perigo de cada um dos 167 taludes analisados.

Conforme tabela 18, obtemos para os 167 taludes avaliados, uma média aritmética (X) de 18,66 com um desvio padrão (Δ) de 9,16, resultando nos valores de $IS = 14,08$ e $IS = 23,24$. Como a avaliação da suscetibilidade se deu através da análise das fichas de cadastro e inspeções e visitas a campo, a avaliação de presença de feições de instabilidade expressivas foi feita pelo inspetor do trecho estudado. Essa atribuição foi sensível com base nos históricos de ocorrências de falhas nos taludes, mas também foi considerado a existência de trincas, cicatrizes de escorregamento e árvores inclinadas.

TABELA 18 – CLASSIFICAÇÃO DOS TALUDES DE ESCORREGAMENTO COM INDICADORES ALTURA E DECLIVIDADE ADAPTADOS EFVM

Média	Desvio Padrão	Índice de Suscetibilidade	Grau de Suscetibilidade	Quantidade de taludes
18,66	9,16	IS < 14,08	Baixo	70
		14,08 < IS < 23,24	Médio	55
		IS < 23,24	Alto	37
		Feições de instabilidade	Muito Alto	5

Fonte: Elaborada pela autora.

A tabela 18 apresenta também como se configurou a classificação da suscetibilidade encontrada para os 167 taludes de corte da EFVM: 5 taludes classificados com grau de suscetibilidade muito alto devido a presença de feições de instabilidade, 37 taludes

classificados com grau de suscetibilidade alto, 55 taludes considerados com grau de suscetibilidade médio e 70 taludes identificados com grau de suscetibilidade baixo.

Uma análise importante a ser feita refere-se à comparação entre a criticidade atribuída ao talude pelo inspetor de infraestrutura, com relação a classificação da suscetibilidade encontrada através da aplicação do método AHP. Observa-se na tabela 19 que o método utilizado para a classificação de suscetibilidade poderá servir como subsídio para o aperfeiçoamento da classificação de criticidade feita pelo inspetor. Comprova-se isso observando que 3 dos 13 ativos classificados como criticidade A tiveram grau de suscetibilidade classificados como médio. A mesma comparação pode ser feita para os taludes com criticidade B e C atribuídas.

TABELA 19 – CRITICIDADE ATRIBUÍDA EFVM X CLASSIFICAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE ENCONTRADA COM O MÉTODO AHP

Criticidade EFVM	Número de Taludes	Grau de Suscetibilidade (AHP)	
A	13	Baixo	0
		Médio	3
		Alto	5
		Muito Alto	5
B	34	Baixo	0
		Médio	16
		Alto	18
C	120	Baixo	70
		Médio	36
		Alto	14

Fonte: Elaborada pela autora.

Os 5 taludes classificados com grau de suscetibilidade muito alto, devido à presença feições de instabilidade estão listados na tabela 20. Caso esses ativos não fossem reclassificados pelos inspetores, eles apresentariam grau de suscetibilidade alto.

TABELA 20 – SUSCETIBILIDADE MUITO ALTO DEVIDO A PRESENÇA DE FEIÇÕES DE INSTABILIDADE

Criticidade Vale	ATIVO km início LT	ATIVO km fim LT	ÍNDICE DE SUSCETIBILIDADE	GRAU DE SUSCETIBILIDADE
A	239+050 LE	240+110	42,03%	Muito Alto
A	259+350 LE	260+800	41,80%	Muito Alto
A	303+300 LE	305+280	41,71%	Muito Alto
A	333+620 LD	337+040	42,03%	Muito Alto
A	363+270 LD	366+520	42,03%	Muito Alto

Fonte: Elaborada pela autora.

6.2 ETAPA 2: CLASSIFICAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS CONFORME ESPECIALISTAS EFVM

Este item apresenta as classificações de suscetibilidade dos ativos de corte do trecho estudado apresentados no item 5, por meio da aplicação do método AHP, conforme indicadores e pesos atribuídos por especialistas em infraestrutura da EFVM. Os ativos serão avaliados de acordo com o item metodológico 3.2.

Os especialistas que fizeram as análises são membros do corpo técnico da empresa Vale com mais de 27 anos de experiência em manutenção e gestão da infraestrutura ferroviária. O especialista 1 é Engenheiro Civil e possui 36 anos de experiência na ferrovia, sendo 30 desses voltados a área de manutenção e gestão da infraestrutura. Hoje atua como especialista técnico da área de infraestrutura ferroviária definindo soluções e priorizando investimentos. O especialista 2 é Técnico de Estradas, fez graduação em Administração e especialização em Sistemas Ambientais e Erosões na UFES entre os anos de 2002/2003. Possui 35 anos de trabalho na ferrovia, sendo 27 desses atuantes na manutenção e gestão da infraestrutura ferroviária. Atualmente atua na área da confiabilidade dos ativos geotécnicos, na priorização de obras e definições de soluções a serem implantadas. O especialista 3 é Técnico de Estradas e possui 36 anos de trabalho voltados a infraestrutura na EFVM. Atualmente é inspetor de infraestrutura, e está nessa função desde 2005, mas já atuou como fiscal, técnico, supervisor e gerente técnico de obras de infraestrutura. Realiza as inspeções nos ativos de infra do trecho estudado da ferrovia, e também programa serviços de

manutenção, resolve conflitos com terceiros e atua nos atendimentos às emergências ao longo da via.

Nota-se que os especialistas não possuem formação em Geotecnia e muito menos em riscos geotécnicos, mas a experiência e vivência prática em infraestrutura ferroviária é notória, inclusive no quesito atendimento a ocorrências por motivo deslizamento de terra nos taludes ao longo de toda a ferrovia.

6.2.1 Aplicação do Método AHP para avaliação da suscetibilidade

Após um treinamento explicativo sobre como funciona o método AHP feito individualmente, os especialistas realizaram os julgamentos dos indicadores de suscetibilidade selecionados. As comparações par a par dos indicadores e suas respectivas classes de atributos com aplicação do AHP, foram realizadas com base na escala de julgamentos de SAATY, a qual varia de 1 a 9 de acordo com a importância do critério. Um exemplo da escala de julgamentos de SAATY foi apresentada no Capítulo 3 (item 3.2).

As estruturações das matrizes de decisão AHP para os indicadores de suscetibilidade e suas classes de atributos, assim como os resultados das análises de sensibilidade (valores da razão de consistência – RC) feitas pelo especialista 1, são apresentados a seguir, as dos demais especialistas no Apêndice B.

Os indicadores de suscetibilidade a deslizamento de terra em ativos geotécnicos tipo corte adotados pelos especialistas EFVM foram 4. Resultando em 6 comparações par a par na escala de SAATY. Na estruturação da matriz recíproca este número de combinações passa a ser 4 por 4, ou seja, 16 combinações. Essas combinações incluem as comparações entre os próprios critérios, que é igual a unidade e é representada pela diagonal principal da matriz.

A figura 52 apresenta as comparações par a par e a matriz de decisão AHP de acordo com os julgamentos do especialista 1, assim como os resultados do autovetor e da análise de sensibilidade, representada pela razão de consistência (RC). Na análise de

sensibilidade dos julgamentos dos indicadores de suscetibilidade, o resultado da RC foi de 2,90%, ou seja, abaixo de 10%, conforme recomenda o método.

Figura 52 – Matriz de decisão AHP, autovetor e análise de sensibilidade dos indicadores de suscetibilidade conforme julgamento do Especialista 1

ESPECIALISTA 1							
Indicadores	Material do Corte	Inclinação	Altura	Presença de água			
Material do Corte	1,000	1,000	3,000	7,000			
Inclinação	1,000	1,000	2,000	3,000			
Altura	0,333	0,500	1,000	2,000			
Presença de água	0,143	0,333	0,500	1,000			
SOMA	2,476	2,833	6,500	13			
MATRIZ NORMALIZADA					SOMA	AUTOVETOR	
	0,40	0,35	0,46	0,54	1,76	43,92%	Material do Corte
	0,40	0,35	0,31	0,23	1,30	32,38%	Inclinação
	0,13	0,18	0,15	0,15	0,62	15,47%	Altura
	0,06	0,12	0,08	0,08	0,33	8,23%	Presença de água
SOMA	1	1	1	1	4	100,00%	
n = 4							
autovalor (λ_{\max})	4,0804						
Índice de consistência (IC)	2,61%						
Razão de consistência (RC)	2,90% < 10%						

Fonte: Elaborada pela autora.

O autovetor representa a ordem de importância dos indicadores de suscetibilidade de deslizamento de terra em ativos geotécnicos. Conforme apresentado na figura x, a ordem de importância dos indicadores é: em primeiro lugar o tipo de material do corte, com peso de 43,92% e em segundo a inclinação (com peso de 32,38%), seguidos da altura (com peso de 15,47%) e presença de água (com peso de 8,23%).

O especialista 1 considerou que o tipo de material constituinte do talude de corte e a inclinação possuem mesmo grau de importância no processo deflagrador do deslizamento de terra (com a atribuição de mesmo peso), mas com relação aos demais indicadores avaliados o material apresenta um grau de importância mais elevado.

A figura 53 apresenta a matriz de decisão AHP para as classes do indicador de suscetibilidade tipo de material do corte. Os resultados do autovetor foram: a classe de solo não coeso com 55,79%, rocha alterada com 26,33%, solo coeso com 12,19 %

e rocha sã com 5,69%. A razão de consistência dos julgamentos da matriz de decisão AHP foi de 6,18%.

Figura 53 – Matriz de decisão AHP, autovetor e análise de sensibilidade conforme avaliação do Especialista 1 para as classes do indicador de suscetibilidade tipo de material do corte

MATERIAL DO CORTE	Rocha Sã	Solo Coeso	Rocha Alterada	Solo Não Coeso			
Rocha Sã	1,000	0,333	0,200	0,143			
Solo Coeso	3,000	1,000	0,333	0,200			
Rocha Alterada	5,000	3,000	1,000	0,333			
Solo Não Coeso	7,000	5,000	3,000	1,000			
SOMA	16,000	9,333	4,533	1,676			
MATRIZ NORMALIZADA					SOMA	AUTOVETOR	
	0,06	0,04	0,04	0,09	0,23	5,69%	Rocha Sã
	0,19	0,11	0,07	0,12	0,49	12,19%	Solo Coeso
	0,31	0,32	0,22	0,20	1,05	26,33%	Rocha Alterada
	0,44	0,54	0,66	0,60	2,23	55,79%	Solo Não Coeso
SOMA	1	1	1	1	4	100,00%	
n = 4							
autovalor (λ_{\max}) 4,17668							
Índice de consistência (IC) 5,56%							
Razão de consistência (RC) 6,18% < 10%							

Fonte: Elaborada pela autora.

Para o indicador de suscetibilidade inclinação, foram definidas 3 classes de atributos relacionadas as classes avaliadas nas fichas de cadastro, resultando em 3 comparações par a par na escala de SAATY e em 9 combinações na matriz de decisão AHP, conforme figura 54.

Figura 54 – Matriz de decisão AHP, autovetor e análise de sensibilidade conforme avaliação do Especialista 1 para as classes do indicador de suscetibilidade inclinação

INCLINAÇÃO	i < 30°	30° < i < 60°	i > 60°			
i < 30°	1,000	0,333	0,200			
30° < i < 60°	3,000	1,000	0,333			
i > 60°	5,000	3,000	1,000			
SOMA	9,000	4,333	1,533			
MATRIZ NORMALIZADA				SOMA	AUTOVETOR	
	0,11	0,08	0,13	0,3185	10,62%	i < 30°
	0,33	0,23	0,22	0,7815	26,05%	30° < i < 60°
	0,56	0,69	0,65	1,9000	63,33%	i > 60°
SOMA	1	1	1	3	100,00%	
n = 3						
autovalor (λmáx)	3,0554					
Índice de consistência (IC)	2,69%					
Razão de consistência (RC)	2,99% < 10%					

Fonte: Elaborada pela autora.

Os resultados do autovetor para as classes dos indicadores inclinação foram: taludes de corte com inclinação superior a 60° representa a condição crítica na deflagração de escorregamentos obtendo peso de 63,33%, seguido da classe de inclinação entre 30° e 60° , com peso de 26,05%, seguido pela classe com inclinações menores que 30° , com peso de 10,62%. A razão de consistência dos julgamentos da matriz de decisão AHP foi de 2,99%.

A figura 55 representa a matriz de decisão AHP para as classes do indicador de suscetibilidade altura. A condição mais crítica na deflagração de escorregamentos em taludes de corte refere-se a classe altura maior que 30 metros, com peso de 55,79%; seguida da classe altura entre 20 e 30 metros, com peso de 26,33%; da classe altura entre 10 e 20 metros, com peso de 12,19%; e da classe com altura menor ou igual a 10 metros, com peso de 5,69%. O valor da razão de consistência obtido para a classe altura foi de 6,18%.

Figura 55 – Matriz de decisão AHP, autovetor e análise de sensibilidade conforme avaliação do Especialista 1 para as classes do indicador de suscetibilidade altura

ALTURA	h < 10m	10 < h < 20m	20 < h < 30m	h > 30m			
h < 10m	1,000	0,333	0,200	0,143			
10 < h < 20m	3,000	1,000	0,333	0,200			
20 < h < 30m	5,000	3,000	1,000	0,333			
h > 30m	7,000	5,000	3,000	1,000			
SOMA	16,000	9,333	4,533	1,676			
MATRIZ NORMALIZADA					SOMA	AUTOVETOR	
	0,06	0,04	0,04	0,09	0,23	5,69%	h < 10m
	0,19	0,11	0,07	0,12	0,49	12,19%	10 < h < 20m
	0,31	0,32	0,22	0,20	1,05	26,33%	20 < h < 30m
	0,44	0,54	0,66	0,60	2,23	55,79%	h > 30m
SOMA	1	1	1	1	4	100,00%	
n = 4							
autovalor (λ_{\max}) 4,1767							
Índice de consistência (IC) 5,56%							
Razão de consistência (RC) 6,18% < 10%							

Fonte: Elaborada pela autora.

Em relação às classes do indicador de suscetibilidade presença de água, de acordo com os julgamentos paritários, obteve-se a matriz de decisão AHP apresentada na figura 56. Observa-se que não há possibilidade de realizar a análise de sensibilidade, pois o índice de consistência aleatória (CA), apresentado no Capítulo 2 (item 2.4.3), tem valor nulo em matrizes de ordem 1 e ordem 2. Logo, a razão de consistência (RC) representada pela relação entre o índice de consistência (IC) e o índice de consistência aleatória (CA) será indeterminada. O resultado do autovetor em ordem de importância foi: peso de 87,50% para a observação de surgência de água na encosta do talude e de 12,50% para a não observação do nível de água.

Figura 56 – Matriz de decisão AHP, autovetor e análise de sensibilidade conforme avaliação do Especialista 1 para as classes do indicador de suscetibilidade presença de água

PRESENÇA DE ÁGUA	NÃO OBS.	OBSERVADO			
NÃO OBS.	1,000	0,143			
OBSERVADO	7,000	1,000			
SOMA	8,000	1,143			
MATRIZ NORMALIZADA			SOMA	AUTOVETOR	
	0,13	0,13	0,25	12,50%	NÃO OBS.
	0,88	0,88	1,75	87,50%	OBSERVADO
SOMA	1	1	2	100,00%	
n =			2		
autovalor (λ_{\max})			2		
Índice de consistência (IC)			0		
Razão de consistência (RC)			#DIV/0!		

Fonte: Elaborada pela autora.

Na tabela 21 estão apresentados a comparação dos respectivos percentuais encontrados para cada indicador com os pesos obtidos pelos especialistas em cada matriz AHP. Nota-se que ambos especialistas em infraestrutura da EFVM consideram o tipo de material do corte o indicador mais crítico na deflagração de processos de escorregamentos de taludes de corte. Seguido pela inclinação, altura e presença de água no talude.

TABELA 21 – COMPARATIVOS DOS PERCENTUAIS RELATIVOS A CADA INDICADOR DE SUSCETIBILIDADE CONFORME JULGAMENTO DOS ESPECIALISTAS EFVM NA MATRIZ DE DECISÃO AHP

Respectivos % Matriz AHP			
Indicadores	Especialista 1	Especialista 2	Especialista 3
Material do Corte	43,92%	41,59%	50,40%
Inclinação	32,38%	33,20%	20,48%
Altura	15,47%	16,09%	19,40%
Presença de água	8,23%	9,11%	9,73%

Fonte: Elaborada pela autora.

Estes resultados finais do autovetor, podem ser justificados por meio do trabalho de Deere e Patton (1971) *apud* Faria (2011), em que foi verificado que os taludes de corte realizados em rochas alteradas e sã suportam inclinações mais acentuadas que nos taludes de cortes em solos, evidenciando então que o tipo de material constituinte do talude é o fator preponderante na estabilidade do mesmo.

6.2.2 Classificação da suscetibilidade nos 167 ativos geotécnicos de corte da EFVM

A análise da suscetibilidade compreendeu a determinação do Índice de Suscetibilidade (IS) e seu respectivo grau de suscetibilidade da mesma forma como realizada na análise da suscetibilidade com pesos dos indicadores do estudo de Faria (2011) apresentados no item 6.1.3. Para a determinação do IS nessa nova análise, foram utilizados os pesos dos indicadores de suscetibilidade definidos pelos especialistas em infraestrutura da EFVM.

Na tabela 22 são apresentados os resultados encontrados na classificação da suscetibilidade através dos pesos definidos pelos três Especialistas. Foram calculadas as médias aritméticas (X), o desvio padrão (Δ), as faixas dos índices de suscetibilidade através da equação $IS = X \pm \Delta/2$, e também a quantidade de taludes classificados em cada faixa para os 167 ativos estudados. Os resultados encontrados para a classificação da suscetibilidade *muito alto* pelos Especialistas 1 e 2 foram iguais, sendo a maior diferença encontrada na classificação de suscetibilidade média e baixa. Em relação ao Especialista 3, a classificou proposta avaliou 6 taludes com suscetibilidade *muito alto* , sendo todos eles iguais aos 7 encontrados pelos especialistas 1 e 2.

TABELA 22 – CLASSIFICAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE CONFORME ESPECIALISTAS EFVM

Média	Desvio Padrão	Índice de Suscetibilidade	Classificação de Suscetibilidade	Quantidade de taludes
Especialista 1				
28,11	13,25	IS < 21,49	Baixo	68
		21,49 < IS < 35,02	Médio	24
		35,02 < IS < 50	Alto	68
		IS > 50	Muito Alto	7
Especialista 2				
Média	Desvio Padrão	Índice de Suscetibilidade	Classificação de Suscetibilidade	Quantidade de taludes
28,66	12,71	IS < 22,31	Baixo	80
		22,31 < IS < 34,42	Médio	13
		34,42 < IS < 50	Alto	67
		IS > 50	Muito Alto	7
Especialista 3				
Média	Desvio Padrão	Índice de Suscetibilidade	Classificação de Suscetibilidade	Quantidade de taludes
27,59	11,62	IS < 21,78	Baixo	74
		21,78 < IS < 33,40	Médio	28
		33,40 > IS > 50	Alto	59
		IS > 50	Muito Alto	6

Fonte: Elaborada pela autora.

Na tabela 23 são apresentados os ativos classificados com suscetibilidade muito alto pelos 3 especialistas, e também a classificação dos mesmos ativos em relação aos indicadores de Faria (2011). Observa-se que o ativo do km 323+200 LD foi classificado como suscetibilidade alta pelo Especialista 3. No Apêndice C são apresentados todos os resultados encontrados para os 3 especialistas, através de planilha comparativa, com a identificação do ativo (km de localização na ferrovia), os índices e a classificação da suscetibilidade encontrada e também são comparados os resultados encontrados na classificação proposta por Faria (2011).

TABELA 23 – ATIVOS COM CLASSIFICAÇÃO DE SUSCETIBILIDADE *MUITO ALTO*, SEGUNDO ESPECIALISTAS EFVM E COMPARAÇÃO COM CLASSIFICAÇÃO DE ACORDO COM INDICADORES DE FARIA (2011)

Criticidade Vale		ATIVO	ATIVO	Faria (2011)		Especialista 1		Especialista 2		Especialista 3	
		km início	km fim	Índice	Classificação	Índice	Classificação	Índice	Classificação	Índice	Classificação
1	A	239+050 LE	240+110	42,03%	Muito Alto	54,67%	Muito Alto	55,49%	Muito Alto	50,26%	Muito Alto
6	A	303+300 LE	305+280	41,80%	Muito Alto	54,67%	Muito Alto	55,49%	Muito Alto	50,26%	Muito Alto
10	A	342+730 LD	343+200	22,29%	Alto	54,67%	Muito Alto	55,49%	Muito Alto	50,26%	Muito Alto
13	A	363+270 LD	366+520	42,03%	Muito Alto	54,67%	Muito Alto	55,49%	Muito Alto	50,26%	Muito Alto
35	B	323+200 LD	323+580	42,03%	Alto	50,11%	Muito Alto	50,75%	Muito Alto	44,55%	Alto
36	B	326+150 LD	326+700	21,97%	Médio	54,67%	Muito Alto	55,49%	Muito Alto	50,26%	Muito Alto
43	B	369+825 LD	370+250	41,71%	Alto	54,67%	Muito Alto	55,49%	Muito Alto	50,26%	Muito Alto

Fonte: Elaborada pela autora.

6.3 ETAPA 3: CLASSIFICAÇÃO DA CRITICIDADE DOS ATIVOS GEOTÉCNICOS A PARTIR DA AVALIAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE DE DESLIZAMENTO

Seguindo os fundamentos teóricos e os conceitos de criticidade de ativos apresentados no item 2.2.1, a definição de critérios para a classificação da criticidade dos ativos geotécnicos tipo talude de corte objetiva mitigar a subjetividade da classificação de criticidade existente atualmente na EFVM. Com os parâmetros padronizados para os ativos geotécnicos da ferrovia pretende-se ser mais ágeis e assertivos no direcionamento de atenção e recursos aos pontos considerados mais importantes, a fim de se fazer uma gestão de ativos com maior eficácia e qualidade.

Este item apresenta as classificações de criticidade dos ativos de corte do trecho estudado apresentados no Capítulo 5, por meio da aplicação do método AHP, conforme indicadores e pesos propostos pelos Especialistas EFVM para a classificação da suscetibilidade de deslizamentos de terra, adicionando o indicador afastamento do ativo da via, de acordo com o item metodológico 3.3. Apesar desse indicador não estar relacionado a um condicionante geológico-geotécnico, ele representa uma avaliação da consequência que um deslizamento de terra possa causar na operação da ferrovia, possibilitando a avaliação do possível deslizamento atingir o gabarito ferroviário, ou não.

6.3.1 Trabalho em campo: medidas das distâncias

Os dados analisados neste trabalho foram obtidos das fichas de inspeção em 2018, e esse era um indicador novo que foi inserido na revisão de 2017 feita na ficha de cadastro do ativo. Devido a isso, como alguns dos ativos criticidade B e C ainda não haviam sido inspecionados, foi necessário ir aos 167 ativos de corte e realizar a medição das distancias do afastamento do talude de corte da via férrea.

A menor medida obtida em campo foi de 2,5 m, sendo considerada muito próxima da medida restritiva à circulação de trens. No consolidado geral da divisão das classes foram encontrados 44 taludes de corte com distância menor ou igual a 4 m ao eixo da via, 70 taludes com distância entre 4 a 7 m do eixo da via, 30 taludes com distância entre 7 a 10 m e por fim 23 ativos com distância superior a 10 m de afastamento do

talude ao eixo da via. O consolidado das distâncias com relação as criticidades definidas pelos inspetores de infraestrutura são apresentados na tabela 24.

TABELA 24 – CRITICIDADE DOS TALUDES DEFINIDA PELOS INSPETORES COM AS RESPECTIVAS DISTÂNCIAS MEDIDAS EM CAMPO.

Criticidade EFVM	(Número de Taludes)	Afastamento da via	
A	(13)	$d > 10\text{m}$	0
		$10\text{m} \leq d < 7\text{m}$	0
		$7\text{m} \leq d < 4\text{m}$	4
		$d \leq 4\text{m}$	9
B	(31)	$d > 10\text{m}$	0
		$10\text{m} \leq d < 7\text{m}$	3
		$7\text{m} \leq d < 4\text{m}$	12
		$d \leq 4\text{m}$	16
C	(120)	$d > 10\text{m}$	23
		$10\text{m} \leq d < 7\text{m}$	27
		$7\text{m} \leq d < 4\text{m}$	54
		$d \leq 4\text{m}$	19

6.3.2 Aplicação do método AHP ao indicador de criticidade Afastamento do Ativo da Via

Após a afirmação de que o ativo geotécnico tipo talude de corte é mais crítico quanto mais suscetível a deslizamento de terra e mais próximo a ferrovia ele está, foi necessária a estruturação da matriz de decisão AHP para avaliar os pesos relativos de cada classe definida para o indicador de criticidade afastamento do ativo da via.

Para o indicador de criticidade afastamento do ativo da via, foram definidas 4 classes de atributos relacionadas aos itens avaliados nas fichas de cadastro, resultando em 6 comparações par a par na escala de SAATY e em 9 combinações na matriz de decisão AHP, conforme figura 57. O resultado do autovetor considerou a condição mais crítica em relação ao afastamento do ativo da via quando a distância medida em campo for menor ou igual a 4 metros, com peso de 55,79%; seguido pela distância entre 4 a 7 metros, com peso de 26,33%; seguida pela distância entre 7 a 10 metros, com peso relativo de 12,19%; e por último a distância acima de 10 metros, com peso de 5,69%. A razão de consistência dos julgamentos da matriz de decisão AHP foi de 6,54%. Vale ressaltar que todos os 3 Especialistas EFVM atribuíram os mesmos pesos na etapa de comparação par a par.

Figura 57 – Matriz de decisão AHP, autovetor e análise de sensibilidade conforme avaliação dos Especialistas para as classes do indicador de criticidade afastamento do ativo da via

AFAST. VIA	d > 10m	10m < d < 7m	7m < d < 4m	d < 4m			
d > 10m	1,000	0,333	0,200	0,143			
10m < d < 7m	3,000	1,000	0,333	0,200			
7m < d < 4m	5,000	3,000	1,000	0,333			
d < 4m	7,000	5,000	3,000	1,000			
SOMA	16,000	9,333	4,533	1,676			
MATRIZ NORMALIZADA					SOMA	AUTOVETOR	
	0,06	0,04	0,04	0,09	0,23	5,69%	d > 10m
	0,19	0,11	0,07	0,12	0,49	12,19%	10m < d < 7m
	0,31	0,32	0,22	0,20	1,05	26,33%	7m < d < 4m
	0,44	0,54	0,66	0,60	2,23	55,79%	d < 4m
SOMA	1	1	1	1	4	100,00%	
n = 4							
autovalor (λ_{\max})	4,1767						
Índice de consistência (IC)	5,89%						
Razão de consistência (RC)	6,54% < 10%						

Fonte: Elaborada pela autora.

6.3.3 Aplicação do Método AHP para avaliação da criticidade dos ativos geotécnicos

Findada a aplicação do método AHP para o indicador de criticidade afastamento do ativo da via, foi necessária nova comparação par a par dos indicadores avaliados, para a verificação da nova ordem de relevância destes, de acordo com a avaliação dos especialistas EFVM. Os indicadores de criticidade dos ativos geotécnicos tipo corte adotados pelos especialistas EFVM foram 5 (apresentados no item 3.3).

Resultando em 10 comparações par a par na escala de SAATY. Na estruturação da matriz recíproca foram 25 combinações. Importante apontar que o julgamento par a par aconteceu novamente apenas para o indicador novo, sendo que os demais indicadores estudados continuaram com os mesmos pesos da matriz AHP para avaliação da suscetibilidade (apresentados no item 6.2 e Apêndice B).

A figura 58 apresenta a matriz de decisão AHP de acordo com os julgamentos do especialista 1, assim como os resultados do autovetor e da análise de sensibilidade, representada pela razão de consistência (RC). Na análise de sensibilidade dos julgamentos dos indicadores de criticidade, o resultado da RC foi de 3,35%, ou seja, abaixo de 10%, conforme recomenda o método.

Figura 58 – Matriz de decisão AHP, autovetor e análise de sensibilidade dos indicadores de criticidade conforme julgamento do Especialista

		ESPECIALISTA 1							
Indicadores de Perigo	Material do Corte	Afastamento da Via	Inclinação	Altura	Presença de água				
Material do Corte	1,000	1,000	1,000	3,000	7,000				
Afastamento da Via	1,000	1,000	2,000	2,000	3,000				
Inclinação	1,000	0,500	1,000	2,000	3,000				
Altura	0,333	0,500	0,500	1,000	2,000				
Presença de água	0,143	0,333	0,333	0,500	1,000				
SOMA	3,476	3,333	4,833	8,500	16,000				
MATRIZ NORMALIZADA									
							SOMA	AUTOVETOR	
	0,288	0,300	0,207	0,353	0,438	1,585	31,70%	Material do Corte	
	0,288	0,300	0,414	0,235	0,188	1,424	28,49%	Afastamento da Via	
	0,288	0,150	0,207	0,235	0,188	1,067	21,35%	Inclinação	
	0,096	0,150	0,103	0,118	0,125	0,592	11,84%	Altura	
	0,041	0,100	0,069	0,059	0,063	0,331	6,63%	Presença de água	
SOMA	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	5,000	100,00%		
n = 5									
autovalor (λ_{\max})	5,1501								
Índice de consistência	3,75%								
Razão de consistência	3,35%	< 10%							

Fonte: Elaborada pela autora.

A ordem de importância dos indicadores conforme julgamento do especialista 1, conforme figura 58 são: em primeiro lugar o tipo de material do corte, com peso de 31,70% e em segundo o afastamento do ativo da via (com peso de 28,49%), seguidos da inclinação (com peso de 21,35%), da altura (com peso de 11,84%) e presença de água (com peso de 6,63%).

Na figura 58 nota-se que o especialista 1 considerou que o tipo de material constituinte do talude de corte, o afastamento do ativo da via e a inclinação do talude com mesmo

grau de importância no julgamento par a par (com a atribuição de mesmo peso), mas com relação aos demais indicadores avaliados o tipo de material foi considerado o mais importante indicador relacionado a criticidade do ativo.

A matriz de decisão AHP conforme julgamentos do especialista 2 está apresentada na figura 59. Na análise de sensibilidade dos julgamentos dos indicadores de criticidade, o resultado da RC foi de 1,77%. A ordem de importância dos indicadores conforme julgamento do especialista 2 apresentam quase um empate, com 0,45% pontos percentuais de diferença entre o afastamento do ativo da via comparado com tipo de material do corte. Com maior ordem de importância o afastamento do ativo da via, com peso de 30,13% e em segundo o material do corte, com peso de 29,68%; seguidos da inclinação, com peso de 21,58%; da altura, com peso de 12,05%; e presença de água (com peso de 6,56%).

Figura 59 – Matriz de decisão AHP, autovetor e análise de sensibilidade dos indicadores de criticidade conforme julgamento do Especialista 2

		ESPECIALISTA 2						
Indicadores de Perigo	Material do Corte	Afastamento da Via	Inclinação	Altura	Presença de água			
Material do Corte	1,000	1,000	1,000	3,000	5,000			
Afastamento da Via	1,000	1,000	2,000	2,000	4,000			
Inclinação	1,000	0,500	1,000	2,000	3,000			
Altura	0,333	0,500	0,500	1,000	2,000			
Presença de água	0,200	0,250	0,333	0,500	1,000			
SOMA	3,533	3,250	4,833	8,500	15,000			
MATRIZ NORMALIZADA								
						SOMA	AUTOVETOR	
	0,283	0,308	0,207	0,353	0,333	1,484	29,68%	Material do Corte
	0,283	0,308	0,414	0,235	0,267	1,506	30,13%	Afastamento da Via
	0,283	0,154	0,207	0,235	0,200	1,079	21,58%	Inclinação
	0,094	0,154	0,103	0,118	0,133	0,603	12,05%	Altura
	0,057	0,077	0,069	0,059	0,067	0,328	6,56%	Presença de água
SOMA	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	5,000	100,00%	
n = 5								
autovalor (λ_{\max})	5,0793							
Índice de consistência	1,98%							
Razão de consistência	1,77% < 10%							

Fonte: Elaborada pela autora.

O especialista 2 fez o mesmo julgamento para os indicadores tipo de material constituinte do talude de corte, o afastamento do ativo da via e a inclinação do talude, pois foi pontuado com mesmo grau de importância no julgamento par a par. Com relação aos demais indicadores avaliados o afastamento da via foi considerado o indicador mais importante, quando se deseja avaliar a criticidade do ativo. Todavia, os

percentuais foram muito próximos, uma vez que o indicador afastamento do ativo da via obteve 30,13% de peso relativo e o indicador material do corte obteve 29,68%.

Os valores do autovetor, razão de consistência e pesos atribuídos aos indicadores pelo especialista 3 estão apresentados na figura 60. A análise de sensibilidade apresentou valor da RC de 6,21%. Os resultados do autovetor para os indicadores de criticidade foram: material de corte com peso de 38,99%; seguido do afastamento do ativo da via, com peso de 27,76%; seguido pela classe com inclinação, com peso de 13,21%; seguido pela classe altura: 13,35%; e por último a classe presença de água com 6,68%.

Figura 60 – Matriz de decisão AHP, autovetor e análise de sensibilidade dos indicadores de criticidade conforme julgamento do Especialista 3

Indicadores de Perigo	ESPECIALISTA3						
	Material do Corte	Afastamento da Via	Inclinação	Altura	Presença de água		
Material do Corte	1,000	2,000	3,000	4,000	3,000		
Afastamento da Via	0,500	1,000	3,000	2,000	5,000		
Inclinação	0,333	0,333	1,000	1,000	3,000		
Altura	0,250	0,500	1,000	1,000	3,000		
Presença de água	0,333	0,200	0,333	0,333	1,000		
SOMA	2,417	4,033	8,333	8,333	15,000		
MATRIZ NORMALIZADA							
						SOMA	AUTOVETOR
	0,414	0,496	0,360	0,480	0,200	1,950	38,99% Material do Corte
	0,207	0,248	0,360	0,240	0,333	1,388	27,76% Afastamento da Via
	0,138	0,083	0,120	0,120	0,200	0,661	13,21% Inclinação
	0,103	0,124	0,120	0,120	0,200	0,667	13,35% Altura
	0,138	0,050	0,040	0,040	0,067	0,334	6,68% Presença de água
SOMA	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	5,000	100,00%
n = 5							
autovalor ($\lambda_{\text{máx}}$)	5,2780						
Índice de consistência	6,95%						
Razão de consistência	6,21% < 10%						

Fonte: Elaborada pela autora.

Na tabela 25 estão apresentados a comparação dos respectivos percentuais encontrados para cada indicador com os pesos obtidos pelos especialistas em cada matriz AHP. Nota-se que os especialistas 1 e 3 consideram o tipo de material do corte o indicador mais importante para a avaliação da criticidade do ativo. Seguido pelo afastamento da via, inclinação, altura e presença de água no talude. Já o especialista 2 julgou que o material do corte e o afastamento da via possuem quase que mesmo grau de importância em relação a classificação da criticidade do ativo, seguido pela inclinação, altura e presença de água.

TABELA 245 – COMPARATIVOS DOS PERCENTUAIS RELATIVOS A CADA INDICADOR DE CRITICIDADE CONFORME JULGAMENTO DOS ESPECIALISTAS EFVM NA MATRIZ DE DECISÃO AHP

Respectivos % Matriz AHP			
Indicadores	Especialista 1	Especialista 2	Especialista 3
Material do Corte	31,70%	29,68%	38,99%
Afastamento da via	28,49%	30,13%	27,76%
Inclinação	21,35%	21,58%	13,21%
Altura	11,84%	12,05%	13,35%
Presença de água	6,63%	6,56%	6,68%

Fonte: Elaborada pela autora.

6.3.4 Classificação da criticidade dos 167 ativos geotécnicos de corte da EFVM

A classificação da criticidade compreendeu a determinação do Índice de Criticidade (IC) e seu respectivo grau de criticidade, de forma similar a realizada na análise da suscetibilidade com pesos dos indicadores do estudo de Faria (2011) e especialistas em infraestrutura da EFVM, mas com a modificação na faixa de classificação conforme apresentado no item metodológico 6.3.3.2. Para a determinação do IC nessa análise, foram utilizados os pesos dos indicadores de suscetibilidade definidos pelos especialistas em infraestrutura da EFVM adicionado o parâmetro afastamento do ativo da via, com os julgamentos e ponderações feitos através do método AHP.

Na tabela 26 são apresentados os resultados encontrados para a classificação da criticidade dos taludes através dos pesos definidos pelos 3 especialistas EFVM para os 167 ativos estudados. Pode-se verificar as médias, desvio padrão, faixas calculadas para os índices de criticidade e quantidade de taludes em cada classe, e também como ficou a classificação da criticidade proposta para os ativos geotécnicos tipo talude de corte da EFVM de acordo com o item metodológico 6.3.3.2.

TABELA 256 – CÁLCULO DA CRITICIDADE DOS TALUDES COM PESOS DEFINIDOS PELOS ESPECIALISTAS EFVM E APLICAÇÃO DO AHP

Média	Desvio Padrão	Índice de Criticidade	Grau de Criticidade	Quantidade de taludes	Criticidade Proposta EFVM
Especialista 1					
28,03	12,47	IC < 21,79	Baixo	63	C
		21,79 < IC < 34,27	Médio	47	
		34,27 < IC < 50	Alto	50	B
		IC > 50	Muito Alto	7	A
Especialista 2					
28,64	12,19	IC < 22,54	Baixo	66	C
		22,54 < IC < 34,73	Médio	43	
		34,73 < IC < 50	Alto	51	B
		IC > 50	Muito Alto	7	A
Especialista 3					
28,13	11,49	IC < 22,38	Baixo	68	C
		22,38 < IC < 33,87	Médio	38	
		33,87 > IC > 50	Alto	55	B
		IC > 50	Muito Alto	6	A

Fonte: Elaborada pela autora.

Os 7 taludes classificados com criticidade *muito alto* pelos Especialistas 1 e 2 são os mesmos, sendo uma pequena diferença encontrada na classificação de criticidade alta, média e baixa. As diferenças foram nos ativos km 311+245 LD, km 376+490 LE e 381+400 LE em que os resultados do especialista 1 classificaram com criticidade médio e os resultados do especialista 2 classificaram como baixo. E também no km 232+200 LE, que segundo os pesos do especialista 1 resultou na classificação de criticidade médio e o para o especialista 2 como alto. Os valores da média e do desvio padrão foram determinantes nessas diferenças.

Em relação ao Especialista 3, a classificação proposta avaliou 6 ativos com criticidade *muito alto*, sendo todos eles iguais aos 7 encontrados pelos especialistas 1 e 2. A diferença foi em relação ao ativo km 323+200 LD, que também foi classificado com criticidade alta conforme o resultado de avaliação da suscetibilidade (apresentado no item 6.2.2). Essa diferença é devida ao fato de ser o único talude, destes 7, que

apresenta indicador altura classificado na faixa de 20 a 30 m, sendo que todos os demais 6 taludes apresentam altura superior a 30 m.

Os resultados encontrados pela avaliação do especialista 1 foram considerados mais restritivos, ou seja, a favor da segurança. Devido a isso, os pesos dos indicadores atribuídos por esse especialista serão os pesos adotados para aplicação desse método em outros trechos da ferrovia.

Na tabela 27 podemos verificar o comparativo entre a classificação da criticidade atual da EFVM e a classificação proposta neste estudo, comparando os resultados dos 3 especialistas EFVM. Percebe-se que para todos os valores encontrados pelos Especialistas EFVM houve acréscimo nos resultados de criticidade B, sendo que parte do acréscimo foram de ativos previamente classificados como A pelo inspetor, sugerindo haver taludes que necessitariam de inspeção duas vezes ao ano; e paralelamente, alguns taludes de criticidade C foram reclassificados para criticidade B, sugerindo que necessitam serem inspecionados pelo menos uma vez a cada ano. Já a tabela 28 apresenta o comparativo dos ativos hoje classificados com criticidade A em relação a criticidade calculada através desse estudo.

TABELA 267 – COMPARATIVO ENTRE CRITICIDADES EXISTENTES E CALCULADAS PELO ESTUDO

Resultados para Classificação da Criticidade				
Criticidade	Inspetor de Infra	Especialista 1	Especialista 2	Especialista 3
A	13	7	7	6
B	34	50	51	55
C	120	110	109	106

Fonte: Elaborada pela autora.

TABELA 28 – COMPARATIVO ENTRE A CRITICIDADE ATRIBUÍDA PELO INSPETOR E A CRITICIDADE ENCONTRADA PELOS ESPECIALISTAS EFVM PARA ATIVOS CRITICIDADE A

km início	Avaliação Inspetor	Especialista 1	Especialista 2	Especialista 3
239+050 LE	A	A	A	A
240+250 LE	A	B	B	B
241+430 LE	A	B	B	B
246+350 LE	A	B	B	B
257+900 LD	A	B	B	B
259+250 LE	A	A	A	A
303+300 LE	A	A	A	A
333+620 LD	A	A	A	A
342+730 LD	A	B	B	B
343+700 LD	A	B	B	B
360+300 LD	A	B	B	B
361+710 LE	A	B	B	B
363+270 LD	A	A	A	A
323+200 LD	B	A	A	B
369+825 LD	B	A	A	A

Fonte: Elaborada pela autora.

É necessário pontuar que o inspetor relatou que os ativos de km inicial localizados nos: km 240+250, 241+430, km 246+350, 257+900, km 342+730, km 343+700, km 360+300 e km 361+710, conforme descrito no item 5.1.2, na percepção atual dele deveriam ser reclassificados como criticidade B. Essa percepção foi relatada no momento do estudo da criticidade atual do trecho, antes da investigação dos ativos estudados.

Com relação aos novos ativos classificados com criticidade A: km 323+200 LD e km 369+850 LD o inspetor relatou que são pontos de constante monitoramento pois o primeiro é dentro da área urbana de Governador Valadares, sendo que na crista do talude há casas e estradas pavimentadas; o segundo apresenta corte vertical em rocha alterada afastado há apenas 3,30 m do eixo da via e ainda erosões vivas que em todo período chuvoso são carregados materiais para cima da linha.

O resultado encontrado para a nova classificação da criticidade foi considerado muito satisfatório e consistente. Também foi considerado um resultado a favor da

segurança, pois quando comparamos os ativos criticidade B e C percebemos que a quantidade de ativos criticidade B aumentou e a de ativos criticidade C diminuiu.

No Apêndice D são apresentados todos os resultados encontrados para os 3 especialistas, através de planilha comparativa, com a identificação do ativo (km de localização na ferrovia), os índices e a classificação da criticidade encontrada e também são comparados os resultados encontrados na classificação proposta por Faria (2011). Na tabela 29 são apresentadas os ativos e as classificações de suscetibilidade conforme indicadores de Faria (2011) e de criticidade conforme indicadores dos especialistas EFVM.

TABELA 29 – ATIVOS COM CLASSIFICAÇÃO DE CRITICIDADE *MUITO ALTO*, SEGUNDO ESPECIALISTAS EFVM E COMPARAÇÃO COM CLASSIFICAÇÃO DE SUSCETIBILIDADE DE ACORDO COM INDICADORES DE FARIA (2011)

Criticidade Vale		ATIVO	ATIVO	Faria (2011)		Especialista 1		Especialista 2		Especialista 3	
		km início	km fim	Índice	Classificação	Índice	Classificação	Índice	Classificação	Índice	Classificação
1	A	239+050 LE	240+110	42,03%	Muito Alto	54,54%	Muito Alto	55,39%	Muito Alto	51,68%	Muito Alto
6	A	259+350 LE	260+800	41,80%	Muito Alto	51,55%	Muito Alto	52,26%	Muito Alto	51,76%	Muito Alto
7	A	303+300 LE	305+280	41,71%	Muito Alto	54,54%	Muito Alto	55,39%	Muito Alto	51,68%	Muito Alto
8	A	333+620 LD	337+040	42,03%	Muito Alto	54,54%	Muito Alto	55,39%	Muito Alto	51,68%	Muito Alto
13	A	363+270 LD	366+520	42,03%	Muito Alto	54,54%	Muito Alto	55,39%	Muito Alto	51,68%	Muito Alto
34	B	323+200 LD	323+580	38,65%	Alto	51,05%	Muito Alto	51,84%	Muito Alto	47,75%	Alto
43	B	369+825 LD	370+250	41,71%	Alto	54,54%	Muito Alto	55,39%	Muito Alto	51,68%	Muito Alto

Fonte: Elaborada pela autora.

6.4 CONSIDERAÇÕES GERAIS CAPÍTULO 6

A adaptação de um modelo de avaliação da suscetibilidade de deslizamento de terra em taludes de áreas urbanas aplicado a uma obra de caráter linear, como a ferrovia, revelou-se uma metodologia de fácil replicação e com potencial para servir de subsídio no aperfeiçoamento da classificação da criticidade dos ativos geotécnicos do tipo corte. No entanto, há limitações devido principalmente ao fato das áreas avaliadas serem de grande extensão, o que levou à avaliação da região considerada mais restritiva no momento da análise. Por exemplo, há ativos com mais de 3 quilômetros de extensão, apresentando ao longo destes trechos com rocha sã, rocha alterada, solo “coesos” e solo “não coeso”, ficando a classificação definida a condição mais crítica observada, neste caso, solo “não coeso”.

A avaliação da suscetibilidade conforme indicadores e pesos do trabalho de Faria (2011) se mostrou importante pois foi dela que surgiu a correlação entre avaliação da suscetibilidade e definição da criticidade e o aprendizado na utilização do método AHP. Entretanto, devido a subjetividade do julgamento pessoal à presença de feições de instabilidade no talude, essa classificação foi considerada insuficiente pois os ativos considerados mais críticos continuam dependendo da avaliação do inspetor responsável pela análise.

A avaliação simplesmente da suscetibilidade conforme indicadores definidos pelos especialistas EFVM, apesar de importante, revelou resultados pouco expressivos. No entanto, quando foi adicionado o indicador de criticidade afastamento do ativo da via para a classificação da criticidade dos ativos, os resultados referentes aos valores de IC foram considerados muito satisfatórios e consistentes.

Os resultados encontrados referentes aos pesos atribuídos aos indicadores de criticidade pelos três Especialistas EFVM revelaram que dos 7 taludes encontrados com IC superior a 50%, 5 destes eram considerados os mais vulneráveis pelo inspetor do trecho, e deveriam continuar com a classificação de criticidade A. Os 7 taludes classificados com criticidade *muito alto* pelos Especialistas 1 e 2 são os mesmos, sendo uma pequena diferença encontrada em 5 taludes na classificação de criticidade

alta e baixa. A média e o desvio padrão foram determinantes nessa diferença. Em relação ao Especialista 3, a classificação proposta avaliou 6 ativos com criticidade *muito alto*, sendo todos eles iguais aos 7 encontrados pelos especialistas 1 e 2. A única diferença foi em relação ao ativo km 323+200 LD, classificado pelos especialistas 1 e 2 como criticidade *muito alto*, e pelo especialista 3 como criticidade *alto*. Essa diferença é devida ao fato de ser o único talude, destes 7, que apresenta indicador altura classificado na faixa de 20 a 30 m, sendo que todos os demais 6 taludes apresentam altura superior a 30 m.

7 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A utilização dos princípios de gestão de ativos geotécnicos em conjunto com práticas de gestão de risco em taludes, através da aplicação de um modelo de avaliação da suscetibilidade de deslizamento de terra revela-se uma metodologia necessária para a adoção de uma abordagem preventiva com otimização de gastos, levando a uma gestão mais eficiente da infraestrutura ferroviária com consequente redução do risco inerente ao processo. A gestão de risco geotécnicos é parte integrante de uma gestão de ativos de infraestrutura de qualidade, e ambas possuem atividades análogas a serem desenvolvidas para que sejam plenamente aplicadas e documentadas.

Conhecer e compreender a evolução da degradação dos ativos geotécnicos, em resultado às observações e inspeções sistemáticas, possibilitará estabelecer ações de manutenção devidamente planejadas e ajustadas a cada caso. O objetivo principal da gestão de ativos de infraestrutura aliada a gestão de riscos geotécnicos é de aumentar a previsibilidade e reduzir a probabilidade de ocorrência de incidentes, otimização dos custos e aumento do tempo de vida útil dos ativos geotécnicos.

Devido a isso, na EFVM faz-se necessário um sistema de gestão desses ativos, suportada pela área de engenharia e confiabilidade de infraestrutura, em que se objetiva (a) definir a criticidade dos ativos com base em parâmetros padronizados, (b) definir os critérios necessários para monitoramento e avaliação dos ativos através das fichas de cadastro e inspeção padronizadas, (c) direcionar os investimentos e as manutenções necessárias através da avaliação das fichas de inspeção, (d) acompanhar os serviços de manutenção planejados e realizados, (e) suportar tecnicamente as definições de intervenções e melhorias a serem executadas nos ativos para garantir a sua integridade estrutural e (f) apoiar o desenvolvimento de novas tecnologias em inspeção, cadastro e manutenção dos ativos.

A falta de métodos e parâmetros para a definição da criticidade revela um GAP na gestão de ativos geotécnicos da EFVM. Pode-se não estar monitorando com a frequência adequada ativos críticos, como também ativos com menor demanda de monitoramento podem estar sendo inspecionados além da necessidade, podendo gerar custos desnecessários a companhia e expor colaboradores a riscos de

acidentes com os deslocamentos de carros ao local da inspeção. Constatase que muitas melhorias vêm sendo implementadas desde 2017, sendo a primeira delas a revisão das fichas de inspeção com a distinção entre ficha de cadastro e ficha de inspeção rotineira. A implantação do sistema *ValeForms* com o uso do tablet propiciaram, além de rapidez na execução da tarefa de inspeção e transferência de dados, a captura e armazenamento de fotos dos problemas detectados no ato da inspeção em sistema unificado.

O trecho avaliado é considerado pelo corpo técnico da ferrovia como um dos trechos mais regulares e com menores ocorrências de deslizamentos de terra, que poderiam atingir a plataforma ferroviária com consequente paralisação do fluxo de trens. O histórico dessas ocorrências está nos relatórios de falhas da ferrovia e na memória do inspetor, não havendo padrão e nem sistema formalizado para cadastro das mesmas. Devido a isso, há necessidade de implantar um procedimento para que seja realizada uma inspeção após a ocorrência de um sinistro com o levantamento mínimo dos dados do fato ocorrido, como distância percorrida pelo solo, o tipo de deslizamento, se interditou a ferrovia, se há riscos de novos deslizamentos, volume de terra movimentado, entre outros. Outra necessidade percebida foi a falta de um banco de dados com todas as ocorrências e intervenções já realizadas nos ativos, caracterizando o inventário de ocorrências nos ativos. Essa boa prática é utilizada por vários gestores de infraestrutura de transportes do mundo, sendo de grande valia para auxílio na definição de soluções de problemas futuros, e também para manter uma base adequada das intervenções já realizadas.

Melhorias na Estratégia de Manutenção definida para os ativos do tipo corte são essenciais, pois a atual considera a condição de 50% de assoreamento das drenagens como gatilho para direcionar as equipes de manutenção para o local. Sabe-se que esta definição não leva em conta a criticidade do ativo e que as manutenções realizadas são mais corretivas do que preventivas, sendo necessário repensar a estratégia e definir critérios para o cruzamento da condição do ativo com a criticidade, para posterior priorizar as intervenções necessárias.

Neste estudo buscou-se criar o modelo conceitual ou modelo hipotético da área analisada, com o objetivo de padronização dos parâmetros para a definição da

criticidade dos ativos geotécnicos referentes aos taludes de corte da EFVM. Através da classificação da suscetibilidade de deslizamento de terra, adicionando-se o indicador *afastamento do ativo da via*, como parâmetro de avaliação da consequência do deslizamento, foi possível identificar entre os 167 taludes de corte da EFVM quais são os mais críticos e susceptíveis a deslizamentos de terra no trecho compreendido entre km 231 ao km 383 da linha tronco. Com esses dados em mãos, após a avaliação dos mesmo pela equipe de especialistas técnicos da EFVM, foi possível validar que para o trecho estudado os ativos classificados como mais críticos pelos indicadores propostos são de fato os ativos mais críticos do referido trecho, ficando estabelecida a correlação entre suscetibilidade de deslizamento terra e criticidade de ativos geotécnicos. Sendo assim, após identificar e validar os ativos mais críticos, será necessário adequar a base de dados desses ativos às estratégias definidas para a periodicidade de inspeções e serviços de manutenção, garantindo um gerenciamento de ativos geotécnicos mais eficaz na EFVM.

A adaptação de um modelo de avaliação da suscetibilidade de deslizamento de terra em taludes de áreas urbanas aplicado a uma obra de caráter linear, como a ferrovia, revelou-se uma metodologia de fácil replicação e com potencial para servir de subsídio no aperfeiçoamento da classificação da criticidade dos ativos geotécnicos do tipo corte. No entanto, uma limitação é o fato das áreas avaliadas serem de grande extensão, o que levou à avaliação da região considerada mais restritiva no momento da análise.

A avaliação da suscetibilidade conforme indicadores e pesos do trabalho de Faria (2011) se mostrou importante pois foi dela que surgiu a correlação entre avaliação da suscetibilidade e definição da criticidade e o aprendizado na utilização do método AHP. Entretanto, devido a subjetividade do julgamento pessoal à presença de feições de instabilidade no talude, essa classificação foi considerada insuficiente pois os ativos considerados mais críticos continuam dependendo da avaliação do inspetor responsável pela análise.

Os julgamentos paritários dos indicadores de criticidade e suas respectivas classes, realizados pelos três especialistas em infraestrutura da EFVM não mostraram grandes discrepâncias. Quando ocorreu diferença nas análises, a classificação da criticidade

ficou próxima, ou seja, ocorreu uma modificação sensível nos julgamentos, através de pequenas variações no grau de criticidade alta passando para média e de grau de criticidade média passando para baixa. Não foi observada a variação de criticidade alta para baixa, por exemplo.

Os resultados encontrados referentes aos pesos atribuídos aos indicadores de criticidade pelos três Especialistas EFVM revelaram que dos 7 taludes encontrados com IC superior a 50%, 5 destes eram considerados os mais vulneráveis pelo inspetor do trecho, e deveriam continuar com a classificação de criticidade A. Os 7 taludes classificados com criticidade muito alto pelos Especialistas 1 e 2 são os mesmos, sendo uma pequena diferença encontrada em 5 taludes na classificação de criticidade alto e baixa. A média e o desvio padrão foram determinantes nessa diferença. Em relação ao Especialista 3, a classificação proposta avaliou 6 ativos com criticidade muito alto, sendo todos eles iguais aos 7 encontrados pelos especialistas 1 e 2. O resultado encontrado para a nova classificação da criticidade foi considerado muito satisfatório e consistente. Também foi considerado um resultado a favor da segurança, pois quando comparamos os ativos criticidade B e C percebemos que a quantidade de ativos criticidade B aumentou e a de ativos criticidade C diminuiu.

A única diferença foi em relação ao ativo km 323+200 LD, classificado pelos especialistas 1 e 2 como criticidade muito alto, e pelo especialista 3 como criticidade alto. Essa diferença é devida ao fato de ser o único talude, destes 7, que apresenta indicador altura classificado na faixa de 20 a 30 m, sendo que todos os demais 6 taludes apresentam altura superior a 30 m.

A diminuição da subjetividade na definição da criticidade de ativos geotécnicos tipo corte com a incorporação do método AHP contribuiu de forma a melhorar a confiabilidade do diagnóstico de criticidade. Através da definição dos indicadores e respectivas classes que são avaliadas conforme ficha de cadastro e inspeção, os parâmetros para a classificação da criticidade ficaram estabelecidos. A estruturação da análise de criticidade em planilhas utilizando o programa Microsoft Excel tornou o método mais prático, de fácil compreensão, promovendo uma visualização mais clara da contribuição dos processos associados a escorregamentos na análise da criticidade.

As combinações de técnicas de gestão de riscos e gestão da manutenção se mostram uma promessa para o gerenciamento de ativos geotécnicos. As conclusões apresentadas evidenciaram à EFVM e ao seu corpo técnico como a GA é necessária ao prolongamento do ciclo de vida do ativo geotécnico, e como a redução da subjetividade na definição da criticidade direciona a uma manutenção mais assertiva e uma ferrovia mais resiliente e segura, e em última instância, uma maior praticidade para o gerenciamento desses ativos através da facilidade do tratamento dos dados em planilhas de *Excel*.

Sendo assim, conclui-se que as metodologias aplicadas na presente pesquisa possuem vantagens e desvantagens na determinação da suscetibilidade de deslizamento de terra e criticidade dos ativos geotécnicos tipo talude de corte. Entretanto, produziram resultados considerados confiáveis a partir das interpretações das informações obtidas das visitas em campo através de fichas padronizadas e por profissionais com conhecimento consolidado e que os julgamentos qualitativos sejam provenientes de um banco de dados confiável.

Como propostas para trabalhos futuros, recomenda-se:

- Uso de sistema de gestão para inventariar os ativos geotécnicos da EFVM;
- Aplicação dessa metodologia de classificação da criticidade nos diferentes trechos da EFVM;
- Reavaliação da análise AHP do trecho estudado com novos especialistas consultores geotécnicos externos;
- A inclusão de novos fatores condicionantes de criticidade, tais como existência de drenagens nos taludes e quantitativos pluviométricos;
- Incorporação do método AHP num ambiente SIG para mapeamento dos ativos mais críticos da ferrovia.
- Estudo Geotécnico com realização de sondagens, coletas de amostras e ensaios de laboratório e campo para quantificar e qualificar o movimento de terra nos trechos em estudo;

REFERÊNCIAS

- AASHTO. FHWA. Transportation Asset Management Guide – A Focus on Implementations. **Executive Summary**, 2013, 48 p.
- ABREU, L. M.; GRANEMANN, S. R.; GARTNER, I.; BERNARDES, R. S. Escolha de um programa de controle da qualidade da água para consumo humano: aplicação do método AHP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, n. 2, v. 4, 2000. p. 257-262.
- ALEOTTI, P.; CHOWDHURY, R. *Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives*. **Bulletin of International Association of Engineering Geology and Environmental**, n. 58, 1999. p. 21-44.
- ALHEIROS, M. M. et al. **Manual de ocupação dos morros da Região Metropolitana do Recife**. Recife: FDEM, 2003. 384p.
- ALVES, S. M. **Metodologia para análise de riscos geotécnicos em taludes de ferrovias**. 2014. 166 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geotecnia da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2014.
- ALVES, S. M. **Proposta de Monitoramento das encostas da MRS S. A.** Instituto Rio de Janeiro: Militar de Engenharia, 2012. 56p.
- ANTT. **Relatórios Anuais**. Agência Nacional de Transportes Terrestres, 2013. Disponível em: <http://www.antt.gov.br/index.php/content/view/11820/Estrada_de_Ferro_Vitoria_a_Minas.html>. Acesso em: 22 jun. 2016.
- ARAÚJO, A. L. A. 2014. **Aplicação de geoprocessamento na identificação e evolução de escorregamentos de taludes ao longo de vias férreas**. Estudo de caso: Estrada de Ferro Vitória-Minas km 404 ao km 513. 2014. 61 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Departamento de Geologia da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2014.
- ARCA, D.; CITIROGLU, H. K.; TASOGLU, I. K. *A comparison of GIS-based landslide susceptibility assessment of the Satuk village (Yenice, NW Turkey) by frequency ratio and multicriteria decision methods*. **Environmental Earth Sciences**, n. 78, v. 81, 2019. 13 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462** – Confiabilidade e Manutenibilidade. Rio de Janeiro, 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 55000**. Gestão de ativos — Visão geral, princípios e terminologia. Rio de Janeiro, 2014a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 55001**. Gestão de ativos — Sistemas de gestão — Requisitos. Rio de Janeiro, 2014b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 55002**. Gestão de ativos — Sistemas de gestão — Diretrizes para a aplicação da ABNT NBR ISO 55001. Rio de Janeiro, 2014c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7641**:1980 – Via Permanente Ferroviária. Rio de Janeiro, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11682**: Estabilidade de Taludes. Rio de Janeiro, 1991.

AUGUSTO FILHO, O.; CERRI, L. E. S.; AMENOMORI, C. J. Riscos geológicos: aspectos conceituais. Simpósio Latino-Americano sobre risco geológico urbano. **Anais...** São Paulo: ABGE, 1990. p. 334-341.

AUGUSTO FILHO, O. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In: CONFERENCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 1., 1992, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABMS/ABGE, 1992. p. 721-733.

BALDEIRAS, M. **Monitorização de Infraestrutura ferroviária**. Curso de formação em Engenharia Ferroviária. Lisboa: FUNDEC, 2008.

BANA, E.; COSTA, C. A.; VANSNICK, J. C. *MACBETH – An Interactive Path Towards the Construction of Value Functions*. **International Transactions in Operational Research**, n. 4, v. 1, 1994. p. 489-500.

BANDEIRA, A. P. N.; COUTINHO, R. Q. Gerenciamento de Risco de Escorregamento de Encostas na região Metropolitana de Recife – PE. In: **COBRAMSEG**. Rio de Janeiro: ABMS, 2008. p. 260-267.

BERTUOL, F. **Minimização de riscos, mapeamento de deslizamentos e modelagem geotécnica**: estudo de caso BR 376/PR. 2013. 145 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

BOUALI, E. H.; OOMMEN, T.; ESCOBAR-WOLF, R. *Case Study: Interferometric Stacking toward Geohazard Identification and Geotechnical Asset Monitoring*. **Journal of Infrastructure Systems**, 2016. 12 p.

BRANCO FILHO, G. **Dicionário de Termos de Manutenção, Confiabilidade e Qualidade**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna Ltda., 2000.

BRASIL. Ministério das cidades. **Prevenção de riscos de deslizamentos em encostas**: guia para elaboração de políticas municipais. Brasília: Cities Alliance, 2006, 113 p.

BRINA, H. L. **Estradas de Ferro Volume 1 Via Permanente**. Belo Horizonte: UFMG, 1988.

BRITO, M. M.; WEBER, E. J.; FILHO, L. C. P. S. Análise Multicritério aplicada ao Mapeamento da Suscetibilidade a Escorregamentos. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, n. 4, v. 18, 2017. p. 719-735.

BRUSDEN, D. *Mudslides*. In: BRUSDEN, D, PRIOR, D (Ed.). **Slope Instability**. Wiley: Chichester, 1984. p. 363-418.

CARRARA, A. *Multivariate models for landslide hazard evaluation*. **Journal of International Association for Mathematical Geology**, n. 3, v. 15, jun. 1983.

CARVALHO, C. S. Análise quantitativa de riscos e seleção de alternativa de intervenção: exemplo de um programa municipal de controle de riscos geotécnicos em favelas. In: Workshop sobre seguros na engenharia, 1., 2000, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABGE, 2000. p. 49-56.

CARVALHO, P. A. S. **Taludes de rodovias**: orientação para o diagnóstico e solução de seus problemas. São Paulo: IPT, 1991.

CASTELLO BRANCO, J. E. S.; FERREIRA, R. **Tratado de Estrada de Ferro II**. Prevenção e Investigação de descarrilamentos. Rio de Janeiro: Editora Reflexus, 2002. 534 p.

CERRI, L. E. S. Mapeamento de riscos nos municípios. In: **Prevenção de riscos de Deslizamentos em Encostas**. Guia para elaboração de Políticas Municipais. Ministério das cidades, 2006. p. 48-55.

CERRI, L. E. S. Riscos geológicos associados a escorregamentos na Região Metropolitana de São Paulo. In: Seminário dos Problemas Geológicos e Geotécnicos na Região Metropolitana de São Paulo, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABAS/ABGE/SBG, 1992. p. 209-225.

CERRI, L. E. S. **Riscos geológicos associados a escorregamentos: Uma proposta para a prevenção de acidentes**. 1993. 197 p. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente da Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 1993.

CERRI, L. E. S.; AMARAL, C. P. Riscos Geológicos. In: Oliveira, A. M. S; BRITO, S. N. A. (Ed.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998. p. 301-310.

CLAYTON, C. R. I. *Managing Geotechnical Risk: Time for Change? Geotechnical Engineering*. **Proceedings of ICE**, London, n. 1, v. 149, 2001. p. 3-11, 2001.

COIMBRA, M. V. **Modos de falha dos componentes da via permanente ferroviária e seus efeitos no meio ambiente**. 2008. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes do Instituto Militar de Engenharia (IME), Rio de Janeiro, 2008.

CORTELETTI, R. C. **Proposta de metodologia para análise de riscos geológico-geotécnicos em ferrovias – Estudo de caso**: Estrada de Ferro Carajás. 2014. 124

f. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Programa de Pós-Graduação em Geotecnia da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2014.

COSTA, T. C.; BELDERRAIN, M. C. N. Decisão em grupo em métodos multicritério de apoio à decisão. 15º encontro de Iniciação Científica e Pós-Graduação do ITA. **Anais...** Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2009, 12 p.

COSTA, E. A. **Avaliação de Ameaças e Riscos Geotécnicos Aplicados à Estabilidade de Taludes**. 2005. 160 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

COURTURE, R. *Landslide Terminology – National Technical Guidelines and Best Practices on Landslides*. **Geological Survey of Canada**, 2011. p. 12.

CROZIER, M. *Landslides-causes, consequences and environment*. Croom Helm Ltd. **London and Sydney**, 1986, p. 0.7097–0.7099.

CRUDEN, D. M.; VARNES, D. J. *Landslide Types and Processes*. In: TURNER, A. K.; SCHUSTER, R. L. (Ed.). **Landslides: Investigation and Mitigation**. Transport Research Board, Special Report 247. Washington: D.C., 1996. p. 36-75.

CRUZ, A. S. **Manutenção da via**. Lisboa: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 1999.

DANTAS, R. F. O. **Modelo de Gestão de Ativos da via-férrea baseado em análise probabilística de Custos por Ciclo de Vida**. 2014. 101 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de pós-graduação em Engenharia Civil do Instituto Técnico Lisboa. Lisboa, 2014.

DINIS DA GAMA, C. **Geotechnical risk map of a railway in a slide**. Alaska: ARMA/USRMS, 2005. p. 25-29.

DOGSON, J. et al. **DTLR Multi-criteria analysis manual**. DTLR – Department for Transport, Local Government and Regions. Reino Unido, 2001. Disponível em: <http://www.odpm.gov.uk/stellent/groups/odpm_about/documets/pdf/odpm_about_pdf_08524.pdf>. Acesso em: 12 out. 2018.

DORIGO, L. C.; NASCIF, J. **Manutenção Orientada para Resultados**. 1. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2010.

DORNAN, D. L. *Asset management: remedy for addressing the fiscal challenges facing highway infrastructure*. Pergamon. **International Journal of Transport Management**, v. 1, 2002. p. 41-54.

EINSTEIN, H. H. *Landslide risk – Systematic approaches to assessment and management*. In: *International Workshop On Landslide Risk Assessment*, 1. Honolulu. **Proceedings...** Balkema: Rotterdam, 1997. p. 25-50.

EINSTEIN, H. H. *Landslides risk assessment procedure*. In: **International Symposium on Landslides**, Proc. 5th. Lausanne, Switzerland, v. 2. 1988. p. 1075-1090.

EN 13306:2007 – Maintenance - Maintenance terminology. European Standards.

FARIA, D. G. M. **Mapeamento de perigo de escorregamentos em áreas urbanas precárias brasileiras com a incorporação do Processo de Análise Hierárquica (AHP)**. 2011. 194 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

FELL, R.; HO, K. KS.; LACASSE, S.; LEROI, E. *A Framework for Landslide Risk Assessment and Management*. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON LANDSLIDE RISK MANAGEMENT**, Vancouver, 2005. p. 3-26.

FELL, R.; COROMINAS, J.; BONNARD, C.; CASCINI, L.; LEROI, E.; SAVAGE, W. Z. *Guidelines for landslide susceptibility, Hazard and Risk Zoning for Land Use Planning*. **Engineering Geology**, n. 102, 2008. p. 85-98.

FELL, R.; COROMINAS, J.; BONNARD, C.; CASCINI, L.; LEROI, E.; SAVAGE, W. Z. **Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning**. Tradução de MACEDO E. S.; BRESSANI L. A. São Paulo: [s.n.], 2013, 88p.

FELL, R.; HARTFORD, D. *Landslide Risk Management*. In: CRUDEN, D.; FELL, R. (Ed.). **Landslide Risk Assessment**. Balkema: Rotterdam, 1997. p. 51-110.

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. **Movimentos de massa: uma abordagem geológico e geomorfológica**. In: GUERRA, A. J. T; CUNHA, S. B. (Org.) *Geomorfologia e Meio Ambiente*. Rio de Janeiro: Bertrand, 1996. p.123-194.

FERRÃO, G. V. **Aplicação de métodos qualitativos de mapeamento de deslizamento de terra nas encostas de Vitória-ES**. 2016. 129 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2016.

FIGUEIREDO, R. B. **Engenharia Social: Soluções para áreas de risco**. São Paulo: Makron Books, 1994.

FREITAS FILHO, I. T. C. **Estratégias para gestão de ativos e minimização de riscos operacionais em sistemas de geração hidroelétrica**. 2014. 111 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014.

FORTUNATO, E. **Renovação de Plataformas Ferroviárias, Estudos relativos à Capacidade de carga**. 2005. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2005.

GARCIA, R.; ZÉZERE, J. L. Avaliação de Riscos Geomorfológicos: Conceitos, Terminologias e Métodos de Análise. III Seminário Recursos Geológicos, Ambiente e Ordenamento do Território, Livro de Actas, Vila Real, 2003. **Anais...** Vila Real, 2003. p. 299-308.

GLENDINNING, S. et al. *Research-informed design, management and maintenance of infrastructure slopes: development of a multi-scalar approach*. **IOP Conf. Ser.:** Earth Environ. Sci, n. 26, v. 01, 2015.

GOBBI, F. et al. Plano Municipal de Redução de Riscos da Cidade de Caxias do Sul-RS. In: **COBRAMSEG**. Rio de Janeiro: ABMS, 2008. p. 381-387.

GOMES, L. F. A. M.; GOMES, C. F. S.; ALMEIDA, A. T. de. **Tomada De Decisão Gerencial: Enfoque Multicritério**. São Paulo: Atlas, 2002. 389p.

GOMES, R. C. **Setorização Geológico-Geotécnica da Via e Avaliação e Controle de Riscos Geotécnicos dos Taludes da EFVM**. Relatório Técnico Final. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 2014.

GUGLIELMETTI, F. R.; MARINS, F. A. S.; SALOMON, V. A. P. Comparação teórica entre métodos de auxílio à tomada de decisão por múltiplos critérios. XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Ouro Preto, Minas Gerais, 2003, **Anais...** Ouro Preto, 2003. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2003_tr0602_0237.pdf>. Acesso em: 26 maio 2016.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação, Edgard Blücher**. 2. ed. São Paulo: Edgard Büncher, 1984, 194p.

GUZZETTI, F.; CARRARA, A.; CARDINALI, M.; REICHENBACH, P. **Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy**. *Geomorphology* vol.31 n. 1-4. 1999. p.181-216

HD41:2015. **Design Manual for Roads and Bridges Part 3: Maintenance of Highways Geotechnical Assets**. Norwich: Highways England, 2015.

HUTCHINSON, J. *Mass movement*. In: FAIRBRIDGE, R. (Ed). **The Encyclopedia of Geomorphology**. New Yourk: Reinold, 1988. p. 688-695.

HWANG, C. L.; YOON, K. **Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications**. Berlin: Springer-Verlag, 1981.

ICA (International Copper Association). **Gestão de Ativos - Guia para aplicação da Norma ABNT NBR ISO 55001**. Latin América, 2015.

INFANTI JR., N.; FORNASARI FILHO, N. Processos da Dinâmica Superficial. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (Ed.) **Geologia de Engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998. p. 131-152.

INSTITUTO GEOLÓGICO. SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE. **Desastres Naturais**: Conhecer para Prevenir. 1. ed. São Paulo: [s.n.], 2009.

ISSMGE TC 32. **Technical Committee on Risk Assessment and Management**. *Glossary of Risk Assessment Terms*. Version 1. [s.l.]: [s.n.], 2004.

IUGS-WGL. *Quantitative risk assessment for slopes and landslides – the state of the art*. In: CRUDEN, D.; FELL, R. (Ed.). **Landslide Risk Assessment**. Balkema: Rotterdam, 1997. p. 3-12.

KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção Orientada para Resultados**. 4. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2012.

KELLY, A. J. et al. *Application of Landslide Risk Management System to the Saskatchewan Highway Network*. In: *INTERNATIONAL CONFERENCE ON LANDSLIDE RISK MANAGEMENT*, Vancouver, **Anais...** Vancouver, 2005. p. 571-580.

LAVELL, A. *Reflexiones sobre Internacionalización y Globalización y su Incidencia en los Patrones de Riesgo en América Latina*. **Revista Quórum**, Universidad de Alcalá, Espanha, 2001.

LENFERINK, S.; TILLEMA, T.; ARTS, J. *Towards sustainable infrastructure development through integrated contracts: Experiences with inclusiveness in Dutch infrastructure projects*. **International Journal of Project Management**, Elsevier, n. 31, 2013. p. 615-627.

LIANG, G. S.; WANG, M. J. *A Fuzzy Multi-criteria Decision Method for Facility Selection*. **International Journal of Production Research**, n. 11, v. 29, 1991. p. 2313-2330.

LIBOREIRO, K. R.; DIOGO, F. J. d'A.; PEREIRA, W. L. **Emergências de infraestrutura ferroviária**: ocorrências e práticas de atendimento. Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2016.

LOOTSMA, F. A. *Scale sensitivity in the multiplicative AHP and SMART*. **Journal of Multi-criteria Decision Analysis**, v. 2, 1993. p. 87-110.

LOPES, E. S. S. **Modelagem espacial dinâmica em Sistemas de Informação Geográfica – uma aplicação ao estudo de movimentos de massa em uma região da Serra do Mar paulista**. 2006. 314 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual de São Paulo, Rio Claro, 2006.

MEDEIROS JUNIOR, A. **Sistemas integrados de gestão**: Proposta para um procedimento de decisão multicritérios para avaliação estratégica. 2007. 380 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação

Engenharia de Produção da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

MENDONÇA, M. B. et al. Plano Municipal de Redução de Riscos Associados a Escorregamentos do Município de Teresópolis, RJ. In: **COBRAMSEG**. Rio de Janeiro: ABMS, 2008. p. 373-380.

MILLER, P. E. et al. *A remote sensing approach for landslide hazard assessment on engineered slopes*. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, n. 50, v. 4, 2012. p.1048-1056.

MOURÃO, J. M. P. **Gestão e Manutenção da Infraestrutura Ferroviária, os vários tipos de ações de manutenção**. 2017. 143 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em engenharia do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2017.

NETTO, A. P. C. **Estabilidade de Taludes em Faixas de Domínio de Ferrovias**. 2016. Monografia em Pós-Graduação em Recuperação de Áreas Degradadas, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.

NETWORK RAIL. **Asset Management Strategy**. 2014. 46 p. Disponível em: <<https://www.networkrail.co.uk/who-we-are/about-us/>>. Acesso em: 04 out. 2018.

OECD. **Asset Management for the Roads Sector**. *Organization for economic cooperation and development. OECD Publications Service*, 2001.

PARDESHI, S. D.; AUTADE, S. E.; PARDESHI, S. S. *Landslide hazard assessment: recent trends and techniques*. **Springer Plus**, n. 2, v. 253, 2013.

PAS 55-1. **Part 1: Specification for the optimized management of physical assets**. British Standards: The Institute of Asset Management, 2018.

PAS 55-2. **Part 2: Guidelines for the application of PAS 55-1**. British Standards: The Institute of Asset Management, 2018.

PIRES, L. A.; DIOGO, F. J. d'A.; PEREIRA, W. L. **Metodologia para cadastro de cortes e aterros**. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transporte Ferroviário de Carga Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2016.

PRITCHARD, O.; BHREASAIL, A. N.; CAMPBELL, G.; CARLUCCIO, S.; WILLIS, C.; CODD, J. *Practical remote survey applications for improved geotechnical asset management on England's strategic road network*. **7th Transport Research Arena**, Vienna, 2018.

QUADROS, S. G. R. **Contribuição ao processo de priorização de investimentos em infraestrutura de transportes pelo uso do Método de Análise Hierárquica**. 2014. 258 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Programa de Pós-

Graduação em Engenharia da Universidade Federal Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

RECKZIEGEL, B. W.; ROBAINA, L. E. S. **Riscos geológico-geomorfológicos: revisão conceitual**. Santa Maria: Ciência e Natura, 2005. p. 65-83.

REIS, S. et al. *Remote sensing and GIS-based landslide susceptibility mapping using frequency ratio and analytical hierarchy methods in Rize province (NE Turkey)*. **Environ Earth Sci**, n. 66, 2012.p. 2063-2073.

RIBEIRO, G. V. **Uma contribuição metodológica ao atendimento Emergencial em ferrovias**. 2011. 257 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

RODRIGUES, C. J. A. **Contribuição ao Planejamento da Manutenção Preditiva da Superestrutura Ferroviária**. 2001. Tese (Doutorado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

RODRIGUES, C. J. A. Movimentos de massa gravitacionais: conceitos, tipos e mecanismos. In: ZUQUETTE, L. V. (Org.). **Geotecnia Ambiental**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015. p. 81-109.

SAATY, T. L. *Decision making with the analytic hierarchy process*. **International Journal Services Sciences**, Pittsburgh, n. 1, v .1, 2008. p. 83-98.

SAATY, T. L. *Decision making with dependence and fredback: the analytic network process RWS*. **Publications**, Pittsburgh, 1996.

SAATY, T. L. *How to make a decision: The analytic hierarch process*. **European Journal of Operation Research**, Amsterdan, v. 48, 1990. p. 9-26.

SAATY, T. L. *The analytic hierarch process: What it is and how it is used*. **Mathl Modelling**, Pittsburgh, n. 3, v. 9, 1987. p. 161-176.

SALOMON, V. A. P.; MONTEVECHI, J. A. B.; PAMPLONA, E. O. Justificativas para aplicação do método de análise hierárquica. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção. **Anais...** Porto Alegre: ABEPRO, 1999.

SCHMIDT, A. M. A. **Processo de apoio à tomada de decisão – Abordagens: AHP e MACBETH**. 1995. 126 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.

SCHUSTER, R. L.; KOCKELMAN, W. J. *Principles of Landslide Hazard Reduction*. In: **Landslide: Investigation and Mitigation**, Washington, D. C., EUA, National Academy Press, Chapter 5, Special Report 247, Transportation Research Broad, 1996. p. 91-105.

SGAVIOLI, F. **Proposta de metodologia para estudos geotécnicos em projetos de pavimentos ferroviários**. 2012. 228 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Programa de Pós-Graduação em Geotecnia da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto: 2012.

SILVA, E. T. F. **Análise da Evolução dos Defeitos de Via Permanente da MRS para Planejamento de Intervenções Preditivas de Manutenção**. Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2006.

SILVA, T. S. S. **Inspeção e Reabilitação de Infraestruturas Ferroviárias**. 2012. 181 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2012.

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS. 2004, Florianópolis, **Anais...** SIBRADEN, 2004. p. 680-696.

SMITH, K. ***Environmental Hazards: assessing risk & reducing disaster***. Routledge, Londres, 1992. 324p.

SOUSA, E. P. M. et al. Gestão da manutenção no setor de tecnologia de informação de uma Universidade Federal. VI Simpósio de Engenharia de Produção da Região Nordeste, **Anais...** Campina Grande, 2011.

STANLEY, D. A.; AND PIERSON, L. A. "Geotechnical asset management of slopes: Condition indices and performance measures." **Geo-Congress: Stability and Performance of Slopes and Embankments III**. San Diego, 2013. p. 1658-1667.

STEINGUER, J. E. de; DUBERSTEIN, J.; LOPES, V. ***The Analytic Hierarchy Process as a Means for Integrated Watershed Management***. 2005. Disponível em: <<http://www.tucson.ars.ag.gov/icrw/Proceedings/Steiguer.pdf>>. Acesso em: 26 maio 2016.

STEWART, E. E.; BUYS, H. G. *Managing Slope Risk for a Large Highway Network*. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON LANDSLIDE RISK MANAGEMENT**, Vancouver, 2005. p. 599-607.

TATIZANA, C. et al. Análise de Correlação entre chuvas e escorregamentos na Serra do Mar, Município de Cubatão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 5., 1987, **Anais...** São Paulo, ABGE, v. 2, 1987. p. 225-236.

TAVARES, R. et al. Análise da variabilidade temporal e espacial das chuvas associadas aos movimentos de massa no litoral norte paulista. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS. 2004, Florianópolis. **Anais...** SIBRADEN, 2004. p. 680-696.

TCHEMRA, A. H. **Tabela de decisão adaptativa na tomada de decisão multicritério**. 2009. 171 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Computação e Sistema Digitais) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Computação e Sistema Digitais da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

TERZAGHI, K. *Mechanism of Landslides*. In: **Applications of Geology to Engineering Practice**. New York: Geological Society of America, 1950. p. 83-123.

THURLBY, R. *Managing the asset time bomb: a system dynamics approach*. **Proceedings of the ICE – Forensic Engineering**, n. 166, v. 3, 2013. p. 134-142.

TOMINAGA, L. K. **Avaliação de metodologias de análise de risco a escorregamentos**: Aplicação de um ensaio em Ubatuba, SP. 2007. 220 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Geografia Física da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. **Desastres naturais**: conhecer para prevenir. 3. ed. São Paulo: Instituto Geológico, 2015. 196 p.

TROMBETA, A. **Manutenção e Gestão de ativos: qual a diferença?** LinkedIn. Disponível em: <<https://www.linkedin.com/pulse/manuten%C3%A7%C3%A3o-e-gest%C3%A3o-de-ativos-qual-diferen%C3%A7a-trombeta-mba/>>. Acesso em: 13 out. 2018.

UNITED NATIONS, UNITED NATIONS DISASTER RELIEF OFFICE. **UNDRO. Approach to Disaster Mitigation UNDRO News**. Office of the United Nations Disaster Relief Coordinator, UNDRO. Genebra, 1991. 20p.

UNITED NATIONS, INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION. **Terminology on Disaster Risk Reduction**, UNISDR. Genebra, 2009, 35p.

USGS. *The landslide handbook – A guide to understand landslides*. In: HIGHLAND, L. M. et al. **Geological Survey Circular 1325**. [s.l.]: [s.n.], 2008, 129 p.

VALE. **A Estrada de Ferro Vitória a Minas**. Vitória: [s.n.], 2017. 40p.

VALE. **Documento Técnico n.º 11333 – Estratégia de Manutenção 2016-2020 para Infraestrutura**. Vale: 2015.

VALE. **Manual Técnico de Via Permanente**. Belo Horizonte: [s.n.], 2013. 692p.

VANACÔR, R. N.; ROLIM S. B. A. Mapeamento da suscetibilidade a deslizamentos usando técnicas de estatística bivariada e sistema de informações geográficas na região nordeste do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Porto Alegre, v. 13, 2012. p.15-28.

VARDON, P. J. *Climatic influence on geotechnical infrastructure: a review*. **Proceedings of the ICE. Environmental Geotechnics**, n. 2, v. 3, 2014. p. 166-174.

VARGAS, L. G. *An overview of the analytic hierarchy process and its applications*. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 48, 1990. p. 2-8.

VARGAS, M. **Metodologia da pesquisa tecnológica**. Rio de Janeiro: Ed. Globo. 1985. 243p.

VARGAS, R. V. Utilizando a programação Multicritério (Analytic Hierarchy Process – AHP) para selecionar e priorizar projetos na gestão de portfólio. **PMI global Congress**, Washington, 2010. 22 p.

VARNES, D. J. **Landslide hazard zonation: a review of principles and practice**. Paris: UNESCO Press, 1984, 63 p.

VARNES, D. J. *Slope movements: types and processes*. In: SCHUSTER; KRIZEK (Ed.). **Landslides: analysis and control**. Transportation Research Board Special Report 176. Washington: National Academy of Sciences, 1978. p. 11-33.

VILAS BOAS, C. L. **Método Multicritérios de Análise de Decisão (MMAD) para as Decisões Relacionadas ao Uso Múltiplo de Reservatórios**: Estudo da Barragem do Ribeirão João Leite. 2006. 145 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Economia da Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

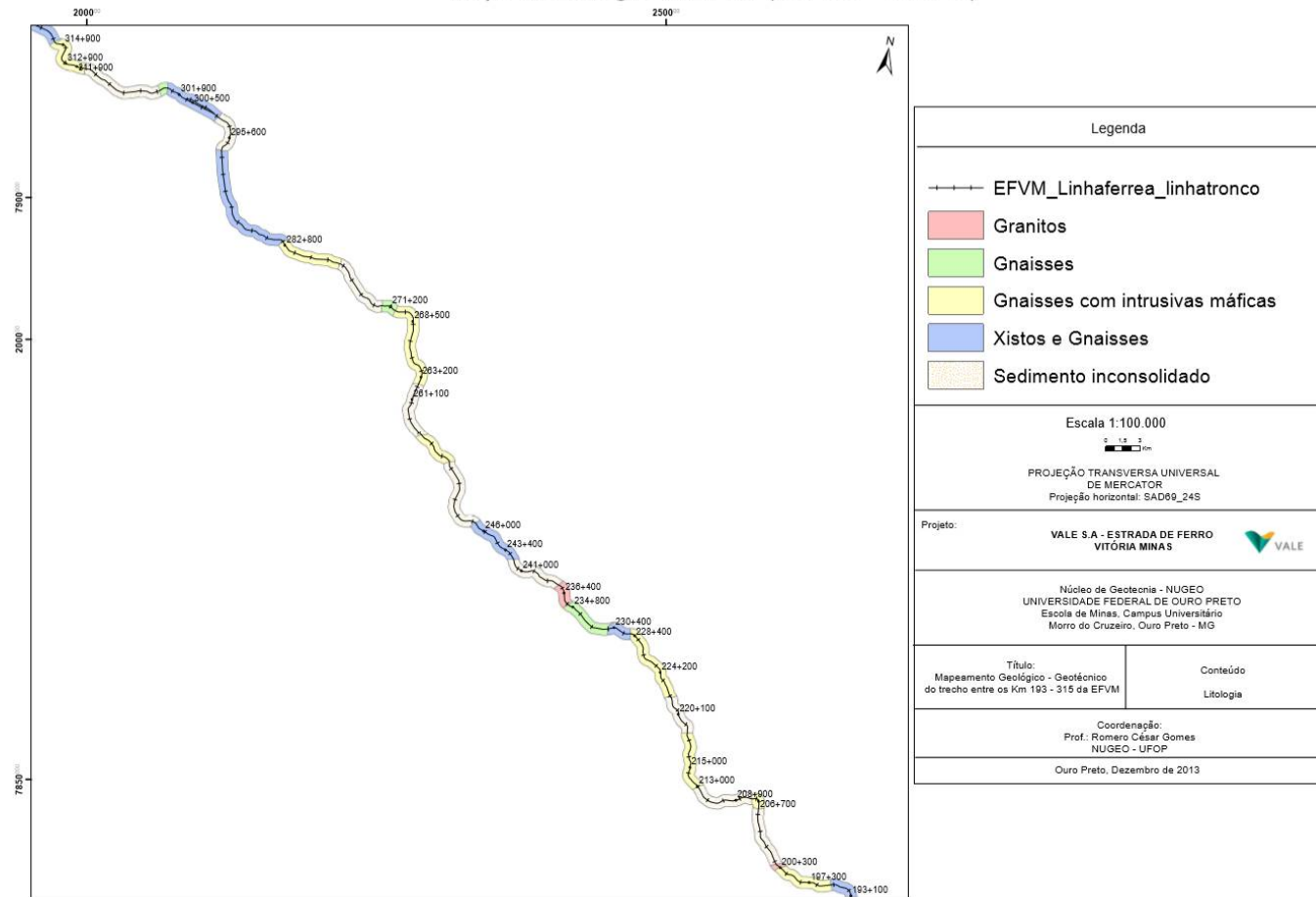
VIANA, H. R. G. **Fatores de Sucesso na Gestão da manutenção**. 1. ed. BookStart. 2002. 100p.

VIEIRA, F. S. **Confiabilidade**: a chave para mais segurança e eficiência na gestão de ativos. Disponível em: <https://www.atech.com.br/wp-content/uploads/2018/04/E-book_Okto_GestaodeAtivos.compressed.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2018.

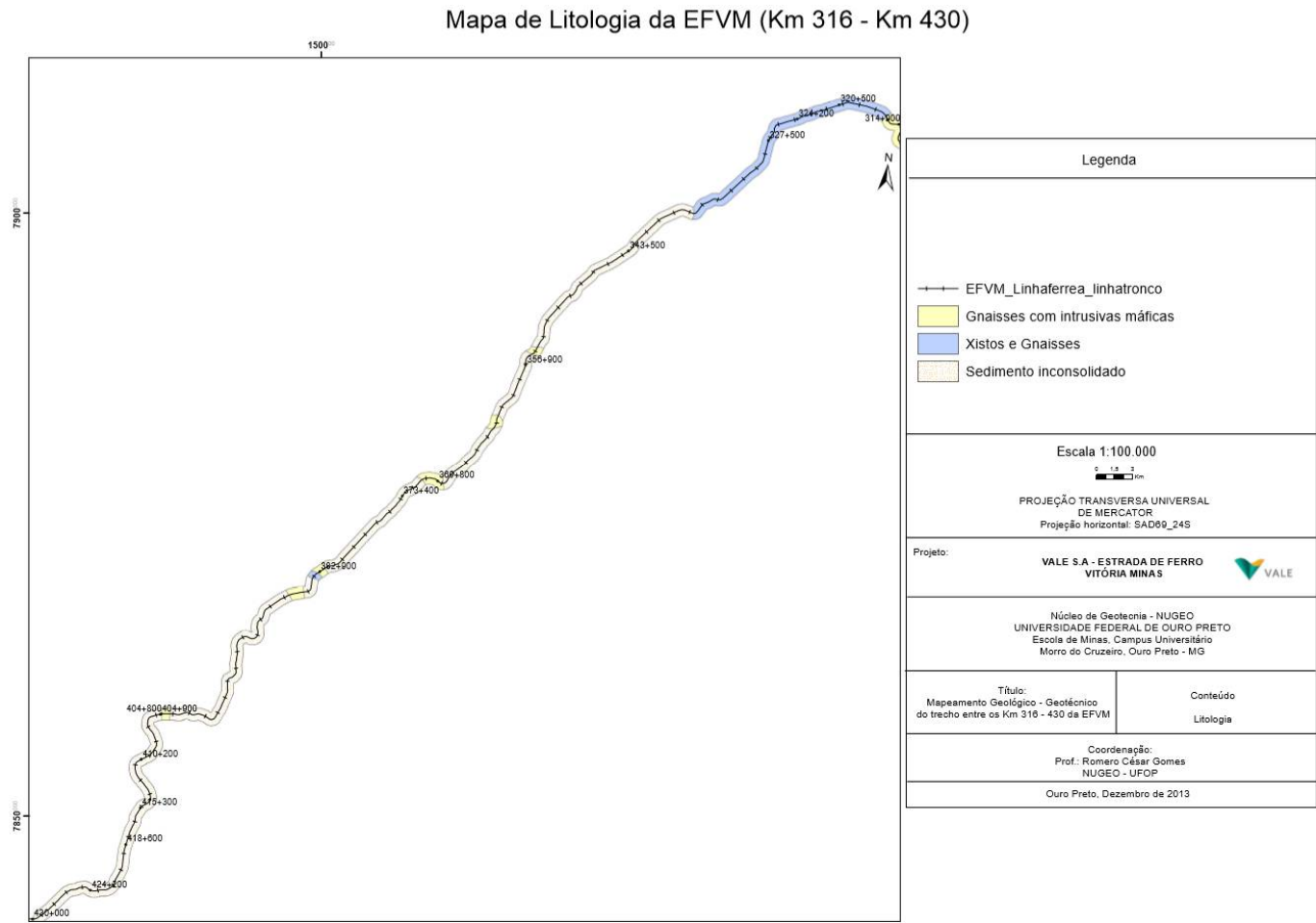
ZUQUETTE, L. V. **Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico**: fundamento e guia para elaboração. 2 v. 1993. 368 f. Tese (Livre-docência em Geotecnia) – Programa de Pós-Graduação em Geotecnia da Escola de Engenharia da Universidade de São Paulo, São Carlos, 1993.

Anexo A – Litologia trecho 2 e trecho 3

Mapa de Litologia da EFVM (Km 193 - Km 315)

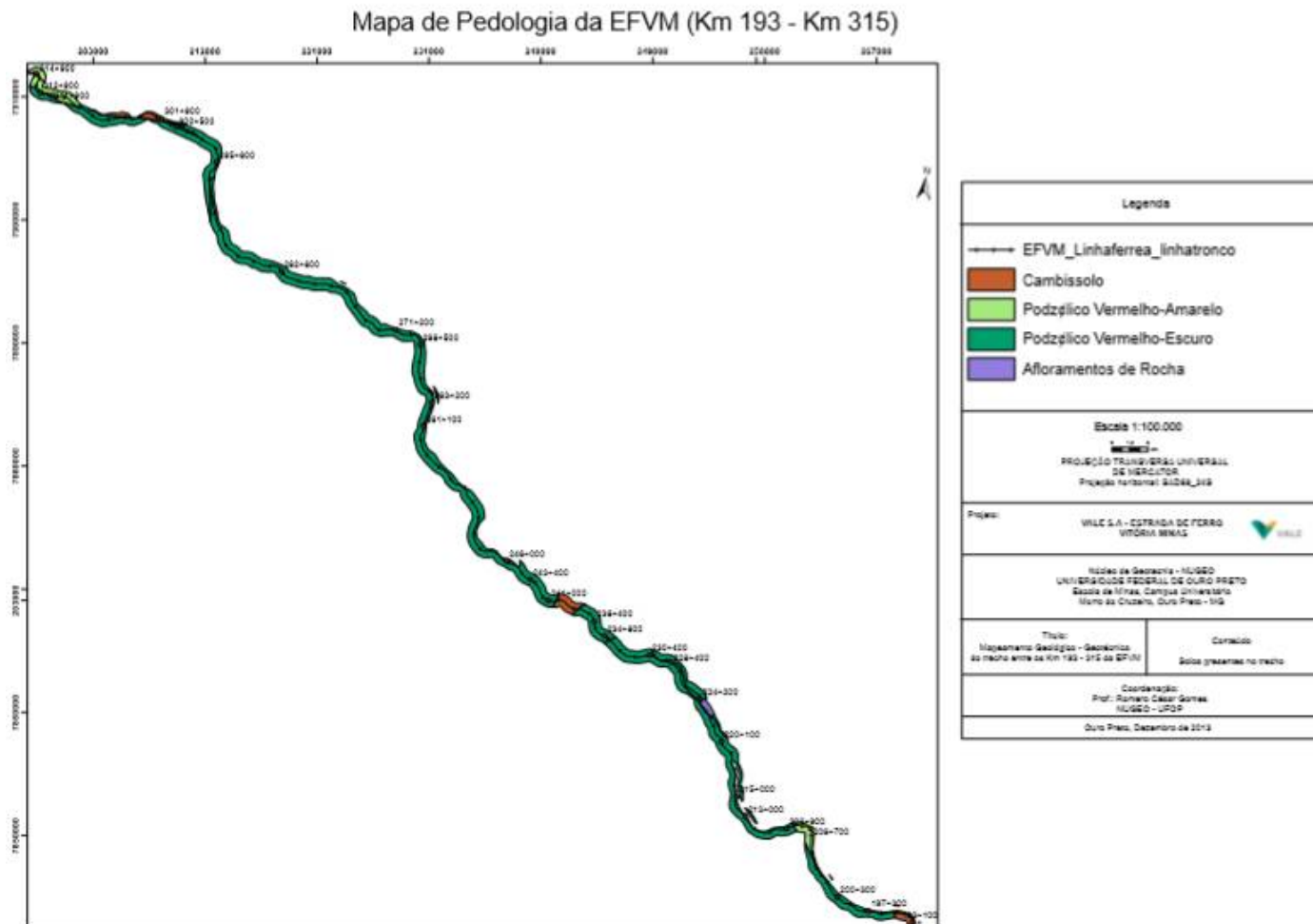


Fonte: Gomes (2014).

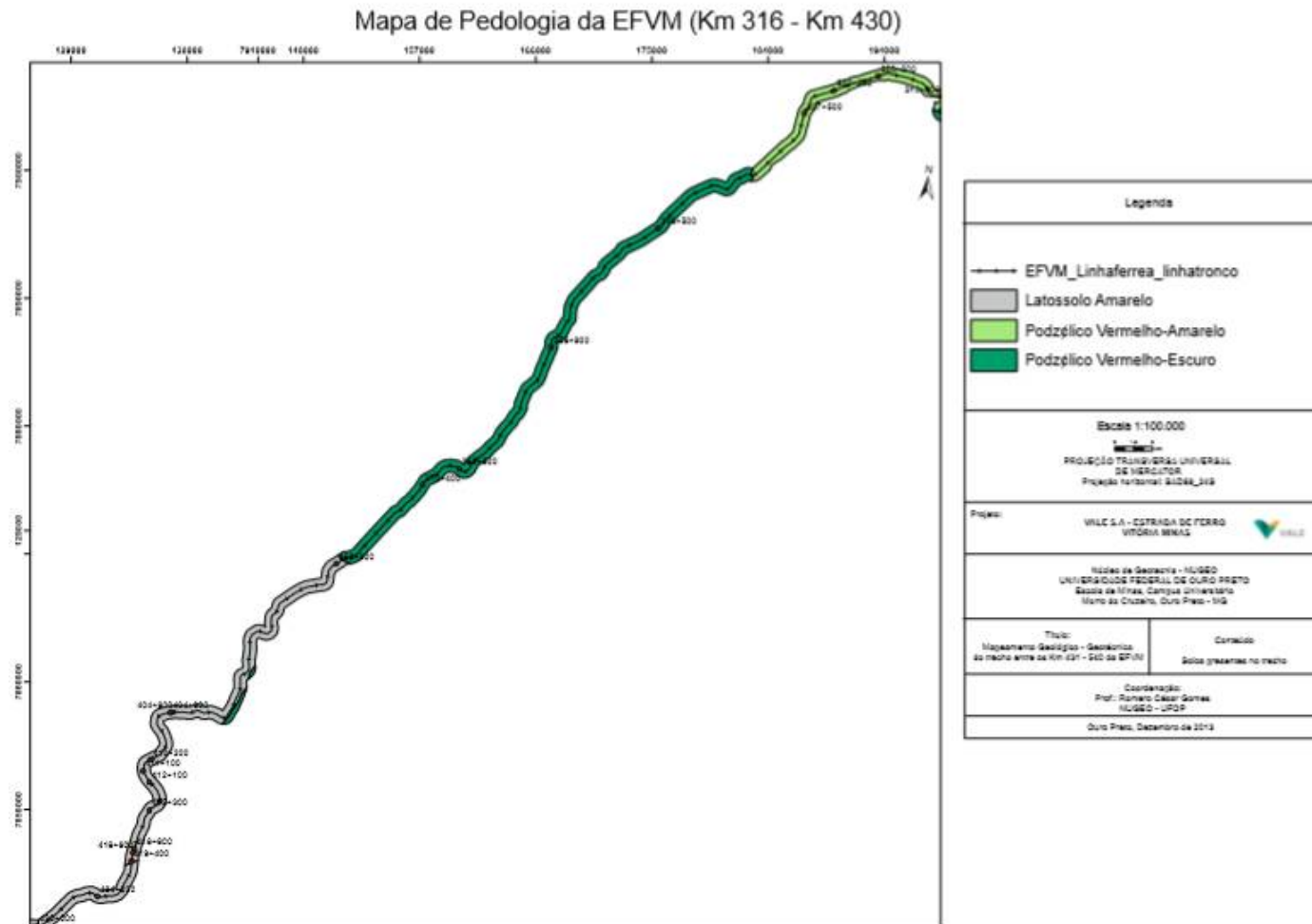


Fonte: Gomes (2014).

Anexo B – Pedologia trecho 2 e trecho 3



Fonte: Gomes (2014).



Fonte: Gomes (2014).

Apêndice A – Tabelas com a entrada de dados conforme pesos e indicadores utilizados por Faria (2011), bem como cálculo do índice e grau de suscetibilidade

Tabela A - Tabelas com a entrada de dados conforme pesos e indicadores utilizados por Faria (2011), bem como cálculo do índice e grau de suscetibilidade																		
(continua)																		
Critici dade Vale		ATIVO km início LT	INDICADORES														ÍNDICE DE SUSCETI BILIDADE	GRAU DE SUSCETI BILIDADE
			AMPLITUD E		DECLIVIDA DE		USO/COBERT URA		N.A		ÁGUA SUPERFICIAL		MATERIAL		EST.GEOLOG ICA			
			VALO R	%	VALO R	%	VALOR	%	VALOR	%	VALOR	%	VALOR	%	VALOR	%		
1	A	239+0 50 LE	h > 30m	5,7 9%		19, 60 %	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E2) - DESF AV ORAVEL A ESTAB .	6,7 9%	42,03%	Muito Alto
2	A	240+2 50 LE	h > 30m	5,7 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E2) - DESF AV ORAVEL A ESTAB. 	6,7 9%	25,35%	Alto
3	A	241+4 30 LE	h > 30m	5,7 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E2) - DESF AV ORAVEL A ESTAB. 	6,7 9%	25,35%	Alto
4	A	246+3 50 LE	20 < h < 30m	2,7 3%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E2) - DESF AV ORAVEL A ESTAB. 	6,7 9%	22,29%	Médio

Tabela A - Tabelas com a entrada de dados conforme pesos e indicadores utilizados por Faria (2011), bem como cálculo do índice e grau de suscetibilidade

(continuação)

5	A	259+250 LE	h > 30m	5,7 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA2) OBSERVA DO	18, 51 %	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB. (E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	41,80%	Muito Alto
6	A	303+300 LE	h > 30m	5,7 9%	i > 60°	19, 60 %	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%		6,7 9%	41,71%	Muito Alto
7	A	361+710 LE	h > 30m	5,7 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	25,35%	Alto
8	A	257+900 LD	10 < h < 20m	1,2 6%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	20,82%	Médio
9	A	333+620 LD	h > 30m	5,7 9%	i > 60°	19, 60 %	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	42,03%	Muito Alto
10	A	342+730 LD	h > 30m	5,7 9%	i > 60°	19, 60 %	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	42,03%	Alto

Tabela A - Tabelas com a entrada de dados conforme pesos e indicadores utilizados por Faria (2011), bem como cálculo do índice e grau de suscetibilidade

(continuação)

11	A	343+700 LD	20 < h < 30m	2,7 3%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	22,29%	Médio
12	A	360+300 LD	h > 30m	5,7 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	25,35%	Alto
13	A	363+270 LD	h > 30m	5,7 9%	i > 60°	19, 60 %	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	42,03%	Muito Alto
14	B	237+520 LE	h < 10m	0,5 9%	i > 60°	19, 60 %	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	36,84%	Alto
15	B	242+472 LE	h > 30m	5,7 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	25,35%	Alto
16	B	244+620 LE	20 < h < 30m	2,7 3%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	22,29%	Médio
17	B	257+320 LE	20 < h < 30m	2,7 3%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Rocha Alterada	2,8 6%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	18,61%	Médio

Tabela A - Tabelas com a entrada de dados conforme pesos e indicadores utilizados por Faria (2011), bem como cálculo do índice e grau de suscetibilidade

(continuação)

18	B	258+5 20 LE	20 < h < 30m	2,7 3%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	22,29%	Médio
19	B	262+4 50 LE	20 < h < 30m	2,7 3%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Rocha Alterada	2,8 6%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	18,29%	Médio
20	B	268+0 30 LE	h > 30m	5,7 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	25,35%	Alto
21	B	270+9 00 LE	h > 30m	5,7 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	25,35%	Alto
22	B	272+3 00 LE	h > 30m	5,7 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	25,02%	Alto
23	B	284+1 00 LE	h > 30m	5,7 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	25,02%	Alto
24	B	284+7 40 LE	h > 30m	5,7 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	25,35%	Alto

Tabela A - Tabelas com a entrada de dados conforme pesos e indicadores utilizados por Faria (2011), bem como cálculo do índice e grau de suscetibilidade

(continuação)

25	B	286+0 70 LE	h > 30m	5,7 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	25,02%	Alto
26	B	294+2 50 LE	20 < h < 30m	2,7 3%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	21,97%	Médio
27	B	300+1 20 LE	20 < h < 30m	2,7 3%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	21,97%	Médio
28	B	300+5 90 LE	20 < h < 30m	2,7 3%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Rocha Alterada	2,8 6%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	18,29%	Médio
29	B	301+0 00 LE	20 < h < 30m	2,7 3%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Rocha Alterada	2,8 6%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	18,29%	Médio
30	B	302+2 60 LE	h > 30m	5,7 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	25,35%	Alto
31	B	305+5 40 LE	10 < h < 20m	1,2 6%	i > 60°	19, 60 %	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	37,19%	Alto

Tabela A - Tabelas com a entrada de dados conforme pesos e indicadores utilizados por Faria (2011), bem como cálculo do índice e grau de suscetibilidade

(continuação)

32	B	358+0 80 LE	10 < h < 20m	1,2 6%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	20,50%	Médio
33	B	314+2 70 LD	h > 30m	5,7 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	25,35%	Alto
34	B	319+1 00 LD	20 < h < 30m	2,7 3%	i > 60°	19, 60 %	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	38,65%	Alto
35	B	323+2 00 LD	h > 30m	5,7 9%	i > 60°	19, 60 %	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	42,03%	Alto
36	B	326+1 50 LD	20 < h < 30m	2,7 3%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	21,97%	Médio
37	B	338+7 60 LD	h > 30m	5,7 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	25,35%	Alto
38	B	348+5 20 LD	h > 30m	5,7 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	25,35%	Alto

Tabela A - Tabelas com a entrada de dados conforme pesos e indicadores utilizados por Faria (2011), bem como cálculo do índice e grau de suscetibilidade (continuação)																		
39	B	349+2 10 LD	h > 30m	5,7 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Rocha Alterada	2,8 6%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	21,66%	Médio
40	B	355+0 20 LD	10 < h < 20m	1,2 6%	i > 60°	19, 60 %	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	37,51%	Alto
41	B	361+7 10 LD	h > 30m	5,7 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA2) OBSERVA DO	18, 51 %	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	41,48%	Alto
42	B	366+6 40 LD	10 < h < 20m	1,2 6%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Rocha Alterada	2,8 6%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	16,82%	Médio
43	B	369+8 25 LD	h > 30m	5,7 9%	i > 60°	19, 60 %	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	41,71%	Alto
44	B	381+9 00 LD	20 < h < 30m	2,7 3%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	21,97%	Médio
45	C	232+2 00 LE	h > 30m	5,7 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	16,51%	Médio

Tabela A - Tabelas com a entrada de dados conforme pesos e indicadores utilizados por Faria (2011), bem como cálculo do índice e grau de suscetibilidade																		
(continuação)																		
46	C	232+9 12 LE	20 < h < 30m	2,7 3%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Rocha Alterada	2,8 6%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	18,29%	Médio
47	C	234+4 00 LE	20 < h < 30m	2,7 3%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	22,29%	Médio
48	C	235+3 85 LE	20 < h < 30m	2,7 3%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Rocha Alterada	2,8 6%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	18,61%	Médio
49	C	235+9 40 LE	10 < h < 20m	1,2 6%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	15,35%	Médio
50	C	236+7 45 LE	h > 30m	5,7 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Rocha Alterada	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	16,19%	Médio
51	C	237+1 75 LE	10 < h < 20m	1,2 6%	i > 60°	19, 60 %	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	28,68%	Alto
52	C	237+9 80 LE	10 < h < 20m	1,2 6%	i > 60°	19, 60 %	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	32,36%	Alto
53	C	238+2 40 LE	20 < h < 30m	2,7 3%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	16,82%	Médio

Tabela A - Tabelas com a entrada de dados conforme pesos e indicadores utilizados por Faria (2011), bem como cálculo do índice e grau de suscetibilidade																		
(continuação)																		
54	C	241+2 40 LE	h < 10m	0,5 9%	i > 60°	19, 60 %	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	28,00%	Alto
55	C	248+5 50 LE	h < 10m	0,5 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	16,47%	Médio
56	C	250+2 25 LE	h < 10m	0,5 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	10,99%	Baixo
57	C	251+1 20 LE	h < 10m	0,5 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	11,32%	Baixo
58	C	252+7 10 LE	10 < h < 20m	1,2 6%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	15,67%	Médio
59	C	254+6 80 LE	h < 10m	0,5 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	11,32%	Baixo
60	C	264+4 00 LE	20 < h < 30m	2,7 3%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	16,82%	Médio
61	C	266+0 30 LE	h > 30m	5,7 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	19,87%	Médio

Tabela A - Tabelas com a entrada de dados conforme pesos e indicadores utilizados por Faria (2011), bem como cálculo do índice e grau de suscetibilidade

(continuação)

62	C	270+4 00 LE	10 < h < 20m	1,2 6%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	20,50%	Médio
63	C	272+8 20 LE	20 < h < 30m	2,7 3%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	21,97%	Médio
64	C	274+0 50 LE	10 < h < 20m	1,2 6%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	11,99%	Baixo
65	C	275+3 00 LE	10 < h < 20m	1,2 6%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	11,67%	Baixo
66	C	275+6 20 LE	10 < h < 20m	1,2 6%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	20,82%	Médio
67	C	283+0 00 LE	h < 10m	0,5 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	11,32%	Baixo
68	C	285+4 60 LE	20 < h < 30m	2,7 3%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	13,46%	Baixo
69	C	289+6 00 LE	h < 10m	0,5 9%	i < 30°	1,0 2%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	9,43%	Baixo

Tabela A - Tabelas com a entrada de dados conforme pesos e indicadores utilizados por Faria (2011), bem como cálculo do índice e grau de suscetibilidade

(continuação)

70	C	291+5 50 LE	20 < h < 30m	2,7 3%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	16,82%	Médio
71	C	298+8 50 LE	20 < h < 30m	2,7 3%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA2) OBSERVA DO	18, 51 %	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	38,42%	Alto
72	C	306+4 20 LE	h < 10m	0,5 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	11,32%	Baixo
73	C	307+0 30 LE	h < 10m	0,5 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	11,32%	Baixo
74	C	307+2 60 LE	20 < h < 30m	2,7 3%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	22,29%	Médio
75	C	308+5 50 LE	h < 10m	0,5 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	11,32%	Baixo
76	C	314+2 80 LE	20 < h < 30m	2,7 3%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	21,97%	Médio
77	C	316+3 00 LE	h < 10m	0,5 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	11,32%	Baixo

Tabela A - Tabelas com a entrada de dados conforme pesos e indicadores utilizados por Faria (2011), bem como cálculo do índice e grau de suscetibilidade (continuação)																		
78	C	319+1 20 LE	10 < h < 20m	1,2 6%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	11,99%	Baixo
79	C	323+7 50 LE	h < 10m	0,5 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	11,32%	Baixo
80	C	328+1 50 LE	10 < h < 20m	1,2 6%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	20,82%	Médio
81	C	328+8 30 LE	10 < h < 20m	1,2 6%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	20,82%	Médio
82	C	330+0 10 LE	h < 10m	0,5 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	15,00%	Médio
83	C	333+9 00 LE	h < 10m	0,5 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	10,99%	Baixo
84	C	336+3 30 LE	h < 10m	0,5 9%	i < 30°	1,0 2%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	13,11%	Baixo
85	C	337+4 10 LE	h < 10m	0,5 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	14,68%	Médio

Tabela A - Tabelas com a entrada de dados conforme pesos e indicadores utilizados por Faria (2011), bem como cálculo do índice e grau de suscetibilidade																		
(continuação)																		
86	C	341+1 50 LE	h < 10m	0,5 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	15,00%	Médio
87	C	346+7 70 LE	h < 10m	0,5 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	14,68%	Médio
88	C	348+4 20 LE	h < 10m	0,5 9%	i < 30°	1,0 2%	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	12,79%	Baixo
89	C	348+9 80 LE	h < 10m	0,5 9%	i < 30°	1,0 2%	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	9,11%	Baixo
90	C	349+6 30 LE	h < 10m	0,5 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	10,99%	Baixo
91	C	350+6 40 LE	h < 10m	0,5 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	11,32%	Baixo
92	C	354+0 00 LE	10 < h < 20m	1,2 6%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	20,82%	Médio
93	C	355+4 50 LE	h < 10m	0,5 9%	i < 30°	1,0 2%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	9,43%	Baixo

Tabela A - Tabelas com a entrada de dados conforme pesos e indicadores utilizados por Faria (2011), bem como cálculo do índice e grau de suscetibilidade

(continuação)

94	C	358+8 00 LE	h < 10m	0,5 9%	i < 30°	1,0 2%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	9,43%	Baixo
95	C	358+6 10 LE	h < 10m	0,5 9%	i < 30°	1,0 2%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	9,43%	Baixo
96	C	360+4 00 LE	h < 10m	0,5 9%	i < 30°	1,0 2%	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	9,11%	Baixo
97	C	360+8 00 LE	h < 10m	0,5 9%	i < 30°	1,0 2%	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	9,11%	Baixo
98	C	365+7 70 LE	h < 10m	0,5 9%	i < 30°	1,0 2%	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	9,11%	Baixo
99	C	370+8 50 LE	h > 30m	5,7 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	25,02%	Alto
10 0	C	371+6 80 LE	h < 10m	0,5 9%	i < 30°	1,0 2%	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	9,11%	Baixo
10 1	C	372+2 60 LE	h < 10m	0,5 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Rocha Alterada	2,8 6%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	16,47%	Médio

Tabela A - Tabelas com a entrada de dados conforme pesos e indicadores utilizados por Faria (2011), bem como cálculo do índice e grau de suscetibilidade

(continuação)

10 2	C	372+4 50 LE	h < 10m	0,5 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	11,32%	Baixo
10 3	C	374+1 20 LE	h < 10m	0,5 9%	i > 60°	19, 60 %	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	28,00%	Alto
10 4	C	374+6 80 LE	h < 10m	0,5 9%	i < 30°	1,0 2%	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	9,11%	Baixo
10 5	C	376+4 90 LE	h < 10m	0,5 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	10,99%	Baixo
10 6	C	378+6 20 LE	h < 10m	0,5 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	11,32%	Baixo
10 7	C	381+4 00 LE	h < 10m	0,5 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	10,99%	Baixo
10 8	C	382+3 60 LE	h > 30m	5,7 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	21,66%	Médio
10 9	C	239+7 00 LD	h < 10m	0,5 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	11,32%	Baixo

Tabela A - Tabelas com a entrada de dados conforme pesos e indicadores utilizados por Faria (2011), bem como cálculo do índice e grau de suscetibilidade (continuação)																		
110	C	240+980 LD	h < 10m	0,59%	30° < i < 60°	2,91%	(U2) - ARBUSTI VA	0,73%	(NA1) NÃO OBS.	2,06%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,54%	Solo Coeso	2,86%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,64%	11,32%	Baixo
111	C	247+150 LD	10 < h < 20m	1,26%	30° < i < 60°	2,91%	(U2) - ARBUSTI VA	0,73%	(NA1) NÃO OBS.	2,06%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,54%	Solo Coeso	2,86%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,64%	11,99%	Baixo
112	C	251+300 LD	h < 10m	0,59%	30° < i < 60°	2,91%	(U2) - ARBUSTI VA	0,73%	(NA1) NÃO OBS.	2,06%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,54%	Solo Coeso	2,86%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,64%	11,32%	Baixo
113	C	256+200 LD	h < 10m	0,59%	i < 30°	1,02%	(U2) - ARBUSTI VA	0,73%	(NA1) NÃO OBS.	2,06%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,54%	Solo Coeso	2,86%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,64%	9,43%	Baixo
114	C	257+500 LD	h < 10m	0,59%	i < 30°	1,02%	(U2) - ARBUSTI VA	0,73%	(NA1) NÃO OBS.	2,06%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,54%	Solo Coeso	2,86%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,64%	9,43%	Baixo
115	C	265+950 LD	10 < h < 20m	1,26%	30° < i < 60°	2,91%	(U1) - ARBÓREA	0,40%	(NA1) NÃO OBS.	2,06%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,54%	Solo Não Coeso	6,54%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,64%	15,35%	Médio
116	C	266+800 LD	10 < h < 20m	1,26%	i > 60°	19,60%	(U2) - ARBUSTI VA	0,73%	(NA1) NÃO OBS.	2,06%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,54%	Rocha Alterada	2,86%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,64%	28,68%	Alto
117	C	273+900 LD	h < 10m	0,59%	i < 30°	1,02%	(U1) - ARBÓREA	0,40%	(NA1) NÃO OBS.	2,06%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,54%	Solo Coeso	2,86%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,64%	9,11%	Baixo

Tabela A - Tabelas com a entrada de dados conforme pesos e indicadores utilizados por Faria (2011), bem como cálculo do índice e grau de suscetibilidade

(continuação)

11 8	C	275+4 00 LD	h < 10m	0,5 9%	i < 30°	1,0 2%	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	9,11%	Baixo
11 9	C	277+3 50 LD	h < 10m	0,5 9%	i < 30°	1,0 2%	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	9,11%	Baixo
12 0	C	277+8 50 LD	h < 10m	0,5 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	10,99%	Baixo
12 1	C	282+1 50 LD	h < 10m	0,5 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	11,32%	Baixo
12 2	C	287+0 30 LD	h < 10m	0,5 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	11,32%	Baixo
12 3	C	290+0 00 LD	10 < h < 20m	1,2 6%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	11,67%	Baixo
12 4	C	292+4 00 LD	h < 10m	0,5 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	11,32%	Baixo
12 5	C	298+4 00 LD	h < 10m	0,5 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	11,32%	Baixo

Tabela A - Tabelas com a entrada de dados conforme pesos e indicadores utilizados por Faria (2011), bem como cálculo do índice e grau de suscetibilidade

(continuação)

12 6	C	298+7 00 LD	h < 10m	0,5 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Rocha Alterada	2,8 6%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	16,47%	Médio
12 7	C	298+8 20 LD	h < 10m	0,5 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	15,00%	Médio
12 8	C	299+2 40 LD	h < 10m	0,5 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	14,68%	Médio
12 9	C	306+9 50 LD	h < 10m	0,5 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	19,83%	Médio
13 0	C	307+2 50 LD	10 < h < 20m	1,2 6%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	15,67%	Médio
13 1	C	307+6 80 LD	10 < h < 20m	1,2 6%	i > 60°	19, 60 %	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	37,51%	Alto
13 2	C	307+8 50 LD	h < 10m	0,5 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	11,32%	Baixo

Tabela A - Tabelas com a entrada de dados conforme pesos e indicadores utilizados por Faria (2011), bem como cálculo do índice e grau de suscetibilidade

(continuação)

13 3	C	308+6 20 LD	10 < h < 20m	1,2 6%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	20,82%	Médio
13 4	C	311+2 45 LD	h < 10m	0,5 9%	i < 30°	1,0 2%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	9,43%	Baixo
13 5	C	312+5 30 LD	h < 10m	0,5 9%	i < 30°	1,0 2%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	9,43%	Baixo
13 6	C	323+7 50 LD	h < 10m	0,5 9%	i < 30°	1,0 2%	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	9,11%	Baixo
13 7	C	327+0 20 LD	20 < h < 30m	2,7 3%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	13,46%	Baixo
13 8	C	329+1 50 LD	h < 10m	0,5 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	10,99%	Baixo
13 9	C	329+8 30 LD	20 < h < 30m	2,7 3%	i > 60°	19, 60 %	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	30,14%	Alto
14 0	C	332+3 00 LD	h < 10m	0,5 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	10,99%	Baixo

Tabela A - Tabelas com a entrada de dados conforme pesos e indicadores utilizados por Faria (2011), bem como cálculo do índice e grau de suscetibilidade																		
(continuação)																		
14 1	C	337+4 10 LD	20 < h < 30m	2,7 3%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	13,46%	Baixo
14 2	C	339+1 60 LD	h < 10m	0,5 9%	i < 30°	1,0 2%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	9,43%	Baixo
14 3	C	339+5 80 LD	h < 10m	0,5 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	16,47%	Médio
14 4	C	339+8 50 LD	h > 30m	5,7 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	25,02%	Alto
14 5	C	340+5 80 LD	h > 30m	5,7 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	25,02%	Alto
14 6	C	341+1 50 LD	h < 10m	0,5 9%	i < 30°	1,0 2%	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	9,11%	Baixo
14 7	C	344+9 00 LD	h < 10m	0,5 9%	i > 60°	19, 60 %	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	28,00%	Alto
14 8	C	345+5 60 LD	h < 10m	0,5 9%	i < 30°	1,0 2%	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	9,11%	Baixo

Tabela A - Tabelas com a entrada de dados conforme pesos e indicadores utilizados por Faria (2011), bem como cálculo do índice e grau de suscetibilidade

(continuação)

14 9	C	346+1 40 LD	h > 30m	5,7 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Rocha Alterada	2,8 6%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	21,34%	Médio
15 0	C	346+6 15 LD	h < 10m	0,5 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	11,32%	Baixo
15 1	C	349+6 30 LD	h < 10m	0,5 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	11,32%	Baixo
15 2	C	349+8 50 LD	h < 10m	0,5 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	10,99%	Baixo
15 3	C	350+1 80 LD	h < 10m	0,5 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	11,32%	Baixo
15 4	C	350+6 40 LD	h < 10m	0,5 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	11,32%	Baixo
15 5	C	352+3 40 LD	h < 10m	0,5 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	10,99%	Baixo
15 6	C	353+9 50 LD	10 < h < 20m	1,2 6%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	20,82%	Médio

Tabela A - Tabelas com a entrada de dados conforme pesos e indicadores utilizados por Faria (2011), bem como cálculo do índice e grau de suscetibilidade

(continuação)

15 7	C	354+6 50 LD	h < 10m	0,5 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	10,99%	Baixo
15 8	C	358+9 50 LD	h < 10m	0,5 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	10,99%	Baixo
15 9	C	370+4 70 LD	h < 10m	0,5 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U1) - ARBORE A	0,4 0%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	10,99%	Baixo
16 0	C	372+2 60 LD	20 < h < 30m	2,7 3%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	17,14%	Médio
16 1	C	372+5 00 LD	h < 10m	0,5 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Rocha Alterada	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	11,32%	Baixo
16 2	C	373+0 00 LD	h < 10m	0,5 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	15,00%	Médio
16 3	C	374+6 70 LD	h < 10m	0,5 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	15,00%	Médio
16 4	C	375+3 20 LD	20 < h < 30m	2,7 3%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Não Coeso	6,5 4%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	17,14%	Médio

Tabela A - Tabelas com a entrada de dados conforme pesos e indicadores utilizados por Faria (2011), bem como cálculo do índice e grau de suscetibilidade (conclusão)																		
16 5	C	378+5 20 LD	h < 10m	0,5 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Rocha Alterada	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	11,32%	Baixo
16 6	C	380+1 10 LD	h < 10m	0,5 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Rocha Alterada	2,8 6%	(E2) - DESFAV ORAVEL A ESTAB.	6,7 9%	16,47%	Médio
16 7	C	381+3 00 LD	h < 10m	0,5 9%	30° < i < 60°	2,9 1%	(U2) - ARBUSTI VA	0,7 3%	(NA1) NÃO OBS.	2,0 6%	(A<1) - CONC. BAIXA	0,5 4%	Solo Coeso	2,8 6%	(E1) - FAVORA VEL A ESTAB.	1,6 4%	11,32%	Baixo

Apêndice B – Aplicação do método AHP referentes aos indicadores: Material do corte, Inclinação, Altura e Presença de Água, com os respectivos julgamentos dos especialistas 2 e 3 da EFVM

Especialista 2

Figura 1B – Matriz de decisão AHP, autovetor e análise sensibilidade para classes do indicador material do corte

MATERIAL DO CORTE	Rocha Sã	Solo Coeso	Rocha Alterada	Solo Não Coeso		
Rocha Sã	1,000	0,333	0,333	0,143		
Solo Coeso	3,000	1,000	1,000	0,200		
Rocha Alterada	3,000	1,000	1,000	0,333		
Solo Não Coeso	7,000	5,000	3,000	1,000		
SOMA	14,000	7,333	5,333	1,676		
MATRIZ NORMALIZADA					SOMA	AUTOVETOR
	0,07	0,05	0,06	0,09	0,26	6,62% Rocha Sã
	0,21	0,14	0,19	0,12	0,66	16,44% Solo Coeso
	0,21	0,14	0,19	0,20	0,74	18,43% Rocha Alterada
	0,50	0,68	0,56	0,60	2,34	58,52% Solo Não Coeso
SOMA	1	1	1	1	4	100,00%
n = 4						
autovalor ($\lambda_{\text{máx}}$) 4,10						
Índice de consistência (IC) 3,07%						
Razão de consistência (RC) 3,42% < 10%						

Fonte: Gomes, 2018.

Figura 2B – Matriz de decisão AHP, autovetor e análise sensibilidade para classes do indicador inclinação

INCLINAÇÃO	i < 30°	30° < i < 60°	i > 60°		
i < 30°	1,000	0,333	0,200		
30° < i < 60°	3,000	1,000	0,333		
i > 60°	5,000	3,000	1,000		
SOMA	9,000	4,333	1,533		
MATRIZ NORMALIZADA				SOMA	AUTOVETOR
	0,11	0,08	0,13	0,3185	10,62% i < 30°
	0,33	0,23	0,22	0,7815	26,05% 30° < i < 60°
	0,56	0,69	0,65	1,9000	63,33% i > 60°
SOMA	1	1	1	3	100,00%
n = 3					
autovalor ($\lambda_{\text{máx}}$) 3,0554					
Índice de consistência (IC) 2,69%					
Razão de consistência (RC) 2,99% < 10%					

Fonte: Gomes, 2018.

Figura 3B – Matriz de decisão AHP, autovetor e análise sensibilidade para classes do indicador altura

ALTURA	h < 10m	10 < h < 20m	20 < h < 30m	h > 30m		
h < 10m	1,000	0,333	0,200	0,143		
10 < h < 20m	3,000	1,000	0,333	0,200		
20 < h < 30m	5,000	3,000	1,000	0,333		
h > 30m	7,000	5,000	3,000	1,000		
SOMA	16,000	9,333	4,533	1,676		
MATRIZ NORMALIZADA					SOMA	AUTOVETOR
	0,06	0,04	0,04	0,09	0,23	5,69% h < 10m
	0,19	0,11	0,07	0,12	0,49	12,19% 10 < h < 20m
	0,31	0,32	0,22	0,20	1,05	26,33% 20 < h < 30m
	0,44	0,54	0,66	0,60	2,23	55,79% h > 30m
SOMA	1	1	1	1	4	100,00%
n = 4						
autovalor ($\lambda_{\text{máx}}$) 4,1767						
Índice de consistência (IC) 5,56%						
Razão de consistência (RC) 6,18% < 10%						

Fonte: Gomes, 2018.

Figura 4B Matriz de decisão AHP, autovetor e análise sensibilidade para classes do indicador presença de água

PRESENÇA DE ÁGUA	NÃO OBS.	OBSERVADO			
NÃO OBS.	1,000	0,143			
OBSERVADO	7,000	1,000			
SOMA	8,000	1,143			
MATRIZ NORMALIZADA		SOMA	AUTOVETOR		
	0,13	0,13	0,25	12,50%	NÃO OBS.
	0,88	0,88	1,75	87,50%	OBSERVADO
SOMA	1	1	2	100,00%	
n = 2					
autovalor ($\lambda_{\text{máx}}$) 2					
Índice de consistência (IC) 0					
Razão de consistência (RC) #DIV/0!					

Fonte: Gomes, 2018.

Figura 5B – Matriz de decisão AHP, auto vetor e análise de sensibilidade dos indicadores de suscetibilidade de escorregamento de terra em taludes de corte conforme pesos definidos pelo especialista 2 da EFVM

ESPECIALISTA 2							
Indicadores	Material do Corte	Inclinação	Altura	Presença de água			
Material do Corte	1,000	1,000	3,000	5,000			
Inclinação	1,000	1,000	2,000	3,000			
Altura	0,333	0,500	1,000	2,000			
Presença de água	0,200	0,333	0,500	1,000			
SOMA	2,533	2,833	6,500	11			
MATRIZ NORMALIZADA					SOMA	AUTOVETOR	
	0,39	0,35	0,46	0,45	1,66	41,59%	Material do Corte
	0,39	0,35	0,31	0,27	1,33	33,20%	Inclinação
	0,13	0,18	0,15	0,18	0,64	16,09%	Altura
	0,08	0,12	0,08	0,09	0,36	9,11%	Presença de água
SOMA	1	1	1	1	4	100,00%	
n = 4							
autovalor (λ_{\max}) 4,0427							
Índice de consistência (IC) 1,40%							
Razão de consistência (RC) 1,56% < 10%							

Fonte: Gomes, 2018.

Especialista 3

Figura 6B Matriz de decisão AHP, autovetor e análise sensibilidade para classes do indicador material do corte

MATERIAL DO CORTE	Rocha Sã	Solo Coeso	Rocha Alterada	Solo Não Coeso			
Rocha Sã	1,000	0,500	0,500	0,250			
Solo Coeso	2,000	1,000	1,000	0,250			
Rocha Alterada	2,000	1,000	1,000	0,500			
Solo Não Coeso	4,000	4,000	2,000	1,000			
SOMA	9,000	6,500	4,500	2,000			
MATRIZ NORMALIZADA					SOMA	AUTOVETOR	
	0,11	0,08	0,11	0,13	0,42	10,60%	Rocha Sã
	0,22	0,15	0,22	0,13	0,72	18,08%	Solo Coeso
	0,22	0,15	0,22	0,25	0,85	21,21%	Rocha Alterada
	0,44	0,62	0,44	0,50	2,00	50,11%	Solo Não Coeso
SOMA	1	1	1	1	4	100,00%	
n = 4							
autovalor (λ_{\max}) 4,09							
Índice de consistência (IC) 2,79%							
Razão de consistência (RC) 3,10% < 10%							

Fonte: Gomes, 2018.

Figura 7B – Matriz de decisão AHP, autovetor e análise sensibilidade para classes do indicador inclinação

INCLINAÇÃO	$i < 30^\circ$	$30^\circ < i < 60^\circ$	$i > 60^\circ$			
$i < 30^\circ$	1,000	0,333	0,200			
$30^\circ < i < 60^\circ$	3,000	1,000	0,333			
$i > 60^\circ$	5,000	3,000	1,000			
SOMA	9,000	4,333	1,533			
MATRIZ NORMALIZADA				SOMA	AUTOVETOR	
	0,11	0,08	0,13	0,3185	10,62%	$i < 30^\circ$
	0,33	0,23	0,22	0,7815	26,05%	$30^\circ < i < 60^\circ$
	0,56	0,69	0,65	1,9000	63,33%	$i > 60^\circ$
SOMA	1	1	1	3	100,00%	
n = 3						
autovalor ($\lambda_{\text{máx}}$) 3,0554						
Índice de consistência (IC) 2,69%						
Razão de consistência (RC) 2,99% < 10%						

Fonte: Gomes, 2018.

Figura 8B – Matriz de decisão AHP, autovetor e análise sensibilidade para classes do indicador altura

ALTURA	$h < 10m$	$10 < h < 20m$	$20 < h < 30m$	$h > 30m$			
$h < 10m$	1,000	0,333	0,200	0,143			
$10 < h < 20m$	3,000	1,000	0,333	0,200			
$20 < h < 30m$	5,000	3,000	1,000	0,333			
$h > 30m$	7,000	5,000	3,000	1,000			
SOMA	16,000	9,333	4,533	1,676			
MATRIZ NORMALIZADA					SOMA	AUTOVETOR	
	0,06	0,04	0,04	0,09	0,23	5,69%	$h < 10m$
	0,19	0,11	0,07	0,12	0,49	12,19%	$10 < h < 20m$
	0,31	0,32	0,22	0,20	1,05	26,33%	$20 < h < 30m$
	0,44	0,54	0,66	0,60	2,23	55,79%	$h > 30m$
SOMA	1	1	1	1	4	100,00%	
n = 4							
autovalor ($\lambda_{\text{máx}}$) 4,1767							
Índice de consistência (IC) 5,56%							
Razão de consistência (RC) 6,18% < 10%							

Fonte: Gomes, 2018.

Figura 9B – Matriz de decisão AHP, autovetor e análise sensibilidade para classes do indicador presença de água

PRESENÇA DE ÁGUA	NÃO OBS.	OBSERVADO			
NÃO OBS.	1,000	0,143			
OBSERVADO	7,000	1,000			
SOMA	8,000	1,143			
MATRIZ NORMALIZADA			SOMA	AUTOVETOR	
	0,13	0,13	0,25	12,50%	NÃO OBS.
	0,88	0,88	1,75	87,50%	OBSERVADO
SOMA	1	1	2	100,00%	
n = 2					
autovalor ($\lambda_{\text{máx}}$) 2					
Índice de consistência (IC) 0					
Razão de consistência (RC) #DIV/0!					

Fonte: Gomes, 2018.

Figura 10B – Matriz de decisão AHP, auto vetor e análise de sensibilidade dos indicadores de suscetibilidade de escorregamento de terra em taludes de corte conforme pesos definidos pelo especialista 3 da EFVM

ESPECIALISTA3					
Indicadores	Material do Corte	Inclinação	Altura	Presença de água	
Material do Corte	1,000	3,000	4,000	3,000	
Inclinação	0,333	1,000	1,000	3,000	
Altura	0,250	1,000	1,000	3,000	
Presença de água	0,333	0,333	0,333	1,000	
SOMA	1,917	5,333	6,333	10	
MATRIZ NORMALIZADA					SOMA
	0,52	0,56	0,63	0,30	2,02
	0,17	0,19	0,16	0,30	0,82
	0,13	0,19	0,16	0,30	0,78
	0,17	0,06	0,05	0,10	0,39
SOMA	1	1	1	1	4
n = 4					
autovalor ($\lambda_{\text{máx}}$) 4,2593					
Índice de consistência (IC) 7,96%					
Razão de consistência (RC) 8,84% < 10%					

Fonte: Gomes, 2018.

Apêndice C – Classificações da suscetibilidade a deslizamento de solo/rocha dos taludes de corte em relação aos critérios definidos pelos especialistas EFVM comparados aos indicadores definidos por Faria (2011)

Tabela C1 – Comparativo da classificação da suscetibilidade deslizamento taludes EFVM (continua)											
Criticidade Vale		ATIVO		Faria (2011)		Especialista 1		Especialista 2		Especialista 3	
		km início	km fim	Índice	Classificação	Índice	Classificação	Índice	Classificação	Índice	Classificação
1	A	239+050 LE	240+110	42,03%	Muito Alto	54,67%	Muito Alto	55,49%	Muito Alto	50,26%	Muito Alto
2	A	240+250 LE	241+200	25,35%	Alto	42,60%	Alto	43,11%	Alto	42,62%	Alto
3	A	241+430 LE	242+260	25,35%	Alto	42,60%	Alto	43,11%	Alto	42,62%	Alto
4	A	246+350 LE	247+520	22,29%	Médio	38,04%	Alto	38,37%	Alto	36,91%	Alto
5	A	259+250 LE	260+800	20,82%	Muito Alto	48,77%	Alto	49,94%	Alto	49,92%	Alto
6	A	303+300 LE	305+280	41,80%	Muito Alto	54,67%	Muito Alto	55,49%	Muito Alto	50,26%	Muito Alto
7	A	361+710 LE	363+000	41,71%	Alto	42,60%	Alto	43,11%	Alto	42,62%	Alto
8	A	257+900 LD	258+250	42,03%	Médio	35,85%	Alto	36,09%	Alto	34,17%	Alto
9	A	333+620 LD	337+040	42,03%	Muito Alto	42,60%	Alto	43,11%	Alto	42,62%	Alto
10	A	342+730 LD	343+200	22,29%	Alto	54,67%	Muito Alto	55,49%	Muito Alto	50,26%	Muito Alto
11	A	343+700 LD	343+950	25,35%	Médio	38,04%	Alto	38,37%	Alto	36,91%	Alto
12	A	360+300 LD	361+150	25,35%	Alto	42,60%	Alto	43,11%	Alto	42,62%	Alto
13	A	363+270 LD	366+520	42,03%	Muito Alto	54,67%	Muito Alto	55,49%	Muito Alto	50,26%	Muito Alto
14	B	237+520 LE	237+900	36,84%	Alto	46,92%	Alto	47,42%	Alto	40,54%	Alto
15	B	242+472 LE	243+740	25,35%	Alto	42,60%	Alto	43,11%	Alto	42,62%	Alto
16	B	244+620 LE	245+950	22,29%	Médio	38,04%	Alto	38,37%	Alto	36,91%	Alto
17	B	257+320 LE	258+320	18,61%	Médio	25,10%	Médio	21,69%	Baixo	22,35%	Médio
18	B	258+520 LE	259+180	22,29%	Médio	38,04%	Alto	38,37%	Alto	36,91%	Alto
19	B	262+450 LE	264+260	18,29%	Médio	25,10%	Médio	21,69%	Baixo	22,35%	Médio
20	B	268+030 LE	270+110	25,35%	Alto	42,60%	Alto	43,11%	Alto	42,62%	Alto
21	B	270+900 LE	272+000	25,35%	Alto	42,60%	Alto	43,11%	Alto	42,62%	Alto

Tabela C1 – Comparativo da classificação da suscetibilidade deslizamento taludes EFVM (continuação)											
22	B	272+300 LE	272+720	25,02%	Alto	42,60%	Alto	43,11%	Alto	42,62%	Alto
23	B	284+100 LE	284+600	25,02%	Alto	42,60%	Alto	43,11%	Alto	42,62%	Alto
24	B	284+740 LE	284+950	25,35%	Alto	42,60%	Alto	43,11%	Alto	42,62%	Alto
25	B	286+070 LE	289+400	25,02%	Alto	42,60%	Alto	43,11%	Alto	42,62%	Alto
26	B	294+250 LE	298+755	21,97%	Médio	38,04%	Alto	38,37%	Alto	36,91%	Alto
27	B	300+120 LE	300+540	21,97%	Médio	38,04%	Alto	38,37%	Alto	36,91%	Alto
28	B	300+590 LE	300+760	18,29%	Médio	25,10%	Médio	21,69%	Baixo	22,35%	Médio
29	B	301+000 LE	302+020	18,29%	Médio	25,10%	Médio	21,69%	Baixo	22,35%	Médio
30	B	302+260 LE	303+110	25,35%	Alto	42,60%	Alto	43,11%	Alto	42,62%	Alto
31	B	305+540 LE	305+770	37,19%	Alto	47,92%	Alto	48,47%	Alto	41,80%	Alto
32	B	358+080 LE	358+250	20,50%	Médio	47,92%	Alto	48,47%	Alto	41,80%	Alto
33	B	314+270 LD	317+500	25,35%	Alto	35,85%	Alto	36,09%	Alto	34,17%	Alto
34	B	319+100 LD	322+850	38,65%	Alto	42,60%	Alto	43,11%	Alto	42,62%	Alto
35	B	323+200 LD	323+580	42,03%	Alto	50,11%	Muito Alto	50,75%	Muito Alto	44,55%	Alto
36	B	326+150 LD	326+700	21,97%	Médio	54,67%	Muito Alto	55,49%	Muito Alto	50,26%	Muito Alto
37	B	338+760 LD	338+985	25,35%	Alto	38,04%	Alto	38,37%	Alto	36,91%	Alto
38	B	348+520 LD	349+140	25,35%	Alto	42,60%	Alto	43,11%	Alto	42,62%	Alto
39	B	349+210 LD	349+570	21,66%	Médio	42,60%	Alto	43,11%	Alto	42,62%	Alto
40	B	355+020 LD	355+600	37,51%	Alto	29,66%	Médio	26,43%	Médio	28,06%	Médio
41	B	361+710 LD	363+000	41,48%	Alto	48,77%	Alto	49,94%	Alto	49,92%	Alto
42	B	366+640 LD	369+630	16,82%	Médio	22,92%	Médio	19,41%	Baixo	19,60%	Baixo
43	B	369+825 LD	370+250	41,71%	Alto	54,67%	Muito Alto	55,49%	Muito Alto	50,26%	Muito Alto
44	B	381+900 LD	383+615	21,97%	Médio	38,04%	Alto	38,37%	Alto	36,91%	Alto
45	C	232+200 LE	232+900	16,51%	Médio	23,45%	Médio	25,60%	Médio	26,48%	Médio
46	C	232+912 LE	234+170	18,29%	Médio	25,10%	Médio	21,69%	Baixo	22,35%	Médio
47	C	234+400 LE	235+220	22,29%	Médio	38,04%	Alto	38,37%	Alto	36,91%	Alto
48	C	235+385 LE	235+840	18,61%	Médio	25,10%	Médio	21,69%	Baixo	22,35%	Médio

Tabela C1 – Comparativo da classificação da suscetibilidade deslizamento taludes EFVM (continuação)											
49	C	235+940 LE	236+470	15,35%	Médio	35,85%	Alto	36,09%	Alto	34,17%	Alto
50	C	236+745 LE	237+020	16,19%	Médio	29,66%	Médio	26,43%	Médio	28,06%	Médio
51	C	237+175 LE	237+400	28,68%	Alto	28,78%	Médio	30,97%	Médio	25,66%	Médio
52	C	237+980 LE	238+100	32,36%	Alto	47,92%	Alto	48,47%	Alto	41,80%	Alto
53	C	238+240 LE	238+970	16,82%	Médio	38,04%	Alto	38,37%	Alto	36,91%	Alto
54	C	241+240 LE	241+280	28,00%	Alto	15,70%	Baixo	17,54%	Baixo	16,77%	Baixo
55	C	248+550 LE	248+700	16,47%	Médio	35,85%	Alto	36,09%	Alto	34,17%	Alto
56	C	250+225 LE	250+600	10,99%	Baixo	15,70%	Baixo	17,54%	Baixo	16,77%	Baixo
57	C	251+120 LE	252+000	11,32%	Baixo	38,04%	Alto	38,37%	Alto	36,91%	Alto
58	C	252+710 LE	254+550	15,67%	Médio	35,85%	Alto	36,09%	Alto	34,17%	Alto
59	C	254+680 LE	256+710	11,32%	Baixo	38,04%	Alto	38,37%	Alto	36,91%	Alto
60	C	264+400 LE	265+700	16,82%	Médio	35,85%	Alto	36,09%	Alto	34,17%	Alto
61	C	266+030 LE	267+770	19,87%	Médio	18,89%	Baixo	20,86%	Baixo	20,77%	Baixo
62	C	270+400 LE	270+750	20,50%	Médio	38,04%	Alto	38,37%	Alto	36,91%	Alto
63	C	272+820 LE	273+900	21,97%	Médio	44,21%	Alto	45,20%	Alto	44,21%	Alto
64	C	274+050 LE	274+150	11,99%	Baixo	15,70%	Baixo	17,54%	Baixo	16,77%	Baixo
65	C	275+300 LE	275+535	11,67%	Baixo	38,04%	Alto	38,37%	Alto	36,91%	Alto
66	C	275+620 LE	280+740	20,82%	Médio	38,04%	Alto	38,37%	Alto	36,91%	Alto
67	C	283+000 LE	283+280	11,32%	Baixo	35,85%	Alto	36,09%	Alto	34,17%	Alto
68	C	285+460 LE	285+830	13,46%	Baixo	35,85%	Alto	36,09%	Alto	34,17%	Alto
69	C	289+600 LE	291+450	9,43%	Baixo	15,70%	Baixo	17,54%	Baixo	16,77%	Baixo
70	C	291+550 LE	293+300	16,82%	Médio	34,85%	Alto	35,05%	Alto	32,91%	Médio
71	C	298+850 LE	299+900	38,42%	Alto	15,70%	Baixo	17,54%	Baixo	16,77%	Baixo
72	C	306+420 LE	306+770	11,32%	Baixo	35,85%	Alto	36,09%	Alto	34,17%	Alto
73	C	307+030 LE	307+150	11,32%	Baixo	10,70%	Baixo	12,42%	Baixo	13,61%	Baixo
74	C	307+260 LE	307+600	22,29%	Médio	10,70%	Baixo	12,42%	Baixo	13,61%	Baixo
75	C	308+550 LE	313+350	11,32%	Baixo	42,60%	Alto	43,11%	Alto	42,62%	Alto

Tabela C1 – Comparativo da classificação da suscetibilidade deslizamento taludes EFVM (continuação)											
76	C	314+280 LE	314+520	21,97%	Médio	27,77%	Médio	29,92%	Médio	24,40%	Médio
77	C	316+300 LE	316+850	11,32%	Baixo	10,70%	Baixo	12,42%	Baixo	13,61%	Baixo
78	C	319+120 LE	320+200	11,99%	Baixo	15,70%	Baixo	17,54%	Baixo	16,77%	Baixo
79	C	323+750 LE	326+100	11,32%	Baixo	15,70%	Baixo	17,54%	Baixo	16,77%	Baixo
80	C	328+150 LE	328+645	20,82%	Médio	15,70%	Baixo	17,54%	Baixo	16,77%	Baixo
81	C	328+830 LE	329+000	20,82%	Médio	15,70%	Baixo	17,54%	Baixo	16,77%	Baixo
82	C	330+010 LE	332+650	15,00%	Médio	10,70%	Baixo	12,42%	Baixo	13,61%	Baixo
83	C	333+900 LE	335+620	10,99%	Baixo	35,85%	Alto	36,09%	Alto	34,17%	Alto
84	C	336+330 LE	336+620	13,11%	Baixo	34,99%	Alto	31,79%	Médio	27,24%	Médio
85	C	337+410 LE	337+920	14,68%	Médio	10,70%	Baixo	12,42%	Baixo	13,61%	Baixo
86	C	341+150 LE	341+950	15,00%	Médio	15,70%	Baixo	17,54%	Baixo	16,77%	Baixo
87	C	346+770 LE	347+120	14,68%	Médio	34,85%	Alto	35,05%	Alto	32,91%	Médio
88	C	348+420 LE	348+730	12,79%	Baixo	35,85%	Alto	36,09%	Alto	34,17%	Alto
89	C	348+980 LE	349+400	9,11%	Baixo	47,92%	Alto	48,47%	Alto	41,80%	Alto
90	C	349+630 LE	350+500	10,99%	Baixo	35,85%	Alto	36,09%	Alto	34,17%	Alto
91	C	350+640 LE	353+010	11,32%	Baixo	18,89%	Baixo	20,86%	Baixo	20,77%	Baixo
92	C	354+000 LE	354+540	20,82%	Médio	15,70%	Baixo	17,54%	Baixo	16,77%	Baixo
93	C	355+450 LE	355+600	9,43%	Baixo	10,70%	Baixo	12,42%	Baixo	13,61%	Baixo
94	C	358+800 LE	359+870	9,43%	Baixo	42,60%	Alto	43,11%	Alto	42,62%	Alto
95	C	358+610 LE	358+720	9,43%	Baixo	15,70%	Baixo	17,54%	Baixo	16,77%	Baixo
96	C	360+400 LE	360+540	9,11%	Baixo	10,70%	Baixo	12,42%	Baixo	13,61%	Baixo
97	C	360+800 LE	361+150	9,11%	Baixo	27,77%	Médio	29,92%	Médio	24,40%	Médio
98	C	365+770 LE	366+220	9,11%	Baixo	10,70%	Baixo	12,42%	Baixo	13,61%	Baixo
99	C	370+850 LE	371+100	25,02%	Alto	15,70%	Baixo	17,54%	Baixo	16,77%	Baixo
100	C	371+680 LE	372+200	9,11%	Baixo	15,70%	Baixo	17,54%	Baixo	16,77%	Baixo
101	C	372+260 LE	372+300	16,47%	Médio	15,70%	Baixo	17,54%	Baixo	16,77%	Baixo
102	C	372+450 LE	373+065	11,32%	Baixo	15,70%	Baixo	17,54%	Baixo	16,77%	Baixo

Tabela C1 – Comparativo da classificação da suscetibilidade deslizamento taludes EFVM (continuação)											
103	C	374+120 LE	374+260	28,00%	Alto	15,70%	Baixo	17,54%	Baixo	16,77%	Baixo
104	C	374+680 LE	374+990	9,11%	Baixo	15,70%	Baixo	17,54%	Baixo	16,77%	Baixo
105	C	376+490 LE	376+800	10,99%	Baixo	21,91%	Médio	18,37%	Baixo	18,34%	Baixo
106	C	378+620 LE	379+200	11,32%	Baixo	34,85%	Alto	35,05%	Alto	32,91%	Médio
107	C	381+400 LE	381+550	10,99%	Baixo	21,91%	Médio	18,37%	Baixo	18,34%	Baixo
108	C	382+360 LE	382+395	21,66%	Médio	15,70%	Baixo	17,54%	Baixo	16,77%	Baixo
109	C	239+700 LD	239+950	11,32%	Baixo	27,77%	Médio	29,92%	Médio	24,40%	Médio
110	C	240+980 LD	241+110	11,32%	Baixo	15,70%	Baixo	17,54%	Baixo	16,77%	Baixo
111	C	247+150 LD	247+420	11,99%	Baixo	15,70%	Baixo	17,54%	Baixo	16,77%	Baixo
112	C	251+300 LD	251+750	11,32%	Baixo	42,60%	Alto	43,11%	Alto	42,62%	Alto
113	C	256+200 LD	256+400	9,43%	Baixo	16,70%	Baixo	18,59%	Baixo	18,03%	Baixo
114	C	257+500 LD	257+800	9,43%	Baixo	16,70%	Baixo	18,59%	Baixo	18,03%	Baixo
115	C	265+950 LD	266+200	15,35%	Médio	15,70%	Baixo	17,54%	Baixo	16,77%	Baixo
116	C	266+800 LD	267+550	28,68%	Alto	10,70%	Baixo	12,42%	Baixo	13,61%	Baixo
117	C	273+900 LD	274+150	9,11%	Baixo	15,70%	Baixo	17,54%	Baixo	16,77%	Baixo
118	C	275+400 LD	275+535	9,11%	Baixo	15,70%	Baixo	17,54%	Baixo	16,77%	Baixo
119	C	277+350 LD	277+450	9,11%	Baixo	15,70%	Baixo	17,54%	Baixo	16,77%	Baixo
120	C	277+850 LD	278+040	10,99%	Baixo	16,70%	Baixo	18,59%	Baixo	18,03%	Baixo
121	C	282+150 LD	282+700	11,32%	Baixo	15,70%	Baixo	17,54%	Baixo	16,77%	Baixo
122	C	287+030 LD	287+200	11,32%	Baixo	34,85%	Alto	35,05%	Alto	32,91%	Médio
123	C	290+000 LD	290+200	11,67%	Baixo	29,85%	Médio	29,92%	Médio	29,75%	Médio
124	C	292+400 LD	293+200	11,32%	Baixo	34,85%	Alto	35,05%	Alto	32,91%	Médio
125	C	298+400 LD	298+500	11,32%	Baixo	34,85%	Alto	35,05%	Alto	32,91%	Médio
126	C	298+700 LD	298+750	16,47%	Médio	29,85%	Médio	29,92%	Médio	29,75%	Médio
127	C	298+820 LD	298+850	15,00%	Médio	10,70%	Baixo	12,42%	Baixo	13,61%	Baixo
128	C	299+240 LD	299+780	14,68%	Médio	15,70%	Baixo	17,54%	Baixo	16,77%	Baixo
129	C	306+950 LD	307+030	19,83%	Médio	10,70%	Baixo	12,42%	Baixo	13,61%	Baixo

Tabela C1 – Comparativo da classificação da suscetibilidade deslizamento taludes EFVM (continuação)											
130	C	307+250 LD	307+260	15,67%	Médio	10,70%	Baixo	12,42%	Baixo	13,61%	Baixo
131	C	307+680 LD	307+760	37,51%	Alto	10,70%	Baixo	12,42%	Baixo	13,61%	Baixo
132	C	307+850 LD	308+080	11,32%	Baixo	10,70%	Baixo	12,42%	Baixo	13,61%	Baixo
133	C	308+620 LD	308+850	20,82%	Médio	10,70%	Baixo	12,42%	Baixo	13,61%	Baixo
134	C	311+245 LD	311+330	9,43%	Baixo	21,91%	Médio	18,37%	Baixo	18,34%	Baixo
135	C	312+530 LD	313+150	9,43%	Baixo	15,70%	Baixo	17,54%	Baixo	16,77%	Baixo
136	C	323+750 LD	324+100	9,11%	Baixo	15,70%	Baixo	17,54%	Baixo	16,77%	Baixo
137	C	327+020 LD	327+300	13,46%	Baixo	23,45%	Médio	25,60%	Médio	26,48%	Médio
138	C	329+150 LD	329+400	10,99%	Baixo	16,70%	Baixo	18,59%	Baixo	18,03%	Baixo
139	C	329+830 LD	330+010	30,14%	Alto	15,70%	Baixo	17,54%	Baixo	16,77%	Baixo
140	C	332+300 LD	333+100	10,99%	Baixo	10,70%	Baixo	12,42%	Baixo	13,61%	Baixo
141	C	337+410 LD	338+200	13,46%	Baixo	10,70%	Baixo	12,42%	Baixo	13,61%	Baixo
142	C	339+160 LD	339+250	9,43%	Baixo	10,70%	Baixo	12,42%	Baixo	13,61%	Baixo
143	C	339+580 LD	339+670	16,47%	Médio	15,70%	Baixo	17,54%	Baixo	16,77%	Baixo
144	C	339+850 LD	339+950	25,02%	Alto	15,70%	Baixo	17,54%	Baixo	16,77%	Baixo
145	C	340+580 LD	340+805	25,02%	Alto	15,70%	Baixo	17,54%	Baixo	16,77%	Baixo
146	C	341+150 LD	341+950	9,11%	Baixo	16,70%	Baixo	18,59%	Baixo	18,03%	Baixo
147	C	344+900 LD	345+190	28,00%	Alto	15,70%	Baixo	17,54%	Baixo	16,77%	Baixo
148	C	345+560 LD	346+000	9,11%	Baixo	21,91%	Médio	18,37%	Baixo	18,34%	Baixo
149	C	346+140 LD	346+250	21,34%	Médio	34,85%	Alto	35,05%	Alto	32,91%	Médio
150	C	346+615 LD	347+120	11,32%	Baixo	34,85%	Alto	35,05%	Alto	32,91%	Médio
151	C	349+630 LD	349+770	11,32%	Baixo	15,70%	Baixo	17,54%	Baixo	16,77%	Baixo
152	C	349+850 LD	350+060	10,99%	Baixo	10,70%	Baixo	12,42%	Baixo	13,61%	Baixo
153	C	350+180 LD	350+500	11,32%	Baixo	10,70%	Baixo	12,42%	Baixo	13,61%	Baixo
154	C	350+640 LD	351+100	11,32%	Baixo	10,70%	Baixo	12,42%	Baixo	13,61%	Baixo
155	C	352+340 LD	352+620	10,99%	Baixo	15,70%	Baixo	17,54%	Baixo	16,77%	Baixo
156	C	353+950 LD	354+540	20,82%	Médio	30,96%	Médio	33,24%	Médio	28,41%	Médio

Tabela C1 – Comparativo da classificação da suscetibilidade deslizamento taludes EFVM (conclusão)											
157	C	354+650 LD	354+840	10,99%	Baixo	18,89%	Baixo	20,86%	Baixo	20,77%	Baixo
158	C	358+950 LD	359+870	10,99%	Baixo	42,60%	Alto	43,11%	Alto	42,62%	Alto
159	C	370+470 LD	372+240	10,99%	Baixo	29,66%	Médio	26,43%	Médio	28,06%	Médio
160	C	372+260 LD	372+380	17,14%	Médio	15,70%	Baixo	17,54%	Baixo	16,77%	Baixo
161	C	372+500 LD	372+550	11,32%	Baixo	15,70%	Baixo	17,54%	Baixo	16,77%	Baixo
162	C	373+000 LD	374+400	15,00%	Médio	35,85%	Alto	36,09%	Alto	34,17%	Alto
163	C	374+670 LD	375+000	15,00%	Médio	15,70%	Baixo	17,54%	Baixo	16,77%	Baixo
164	C	375+320 LD	376+950	17,14%	Médio	38,04%	Alto	38,37%	Alto	36,91%	Alto
165	C	378+520 LD	379+315	11,32%	Baixo	34,85%	Alto	35,05%	Alto	32,91%	Médio
166	C	380+110 LD	381+120	16,47%	Médio	38,04%	Alto	38,37%	Alto	36,91%	Alto
167	C	381+300 LD	381+600	11,32%	Baixo	21,91%	Médio	18,37%	Baixo	18,34%	Baixo

Apêndice D – Classificações da criticidade dos ativos tipo taludes de corte em relação aos critérios definidos pelos Especialistas EFVM comparados a classificação de suscetibilidade encontrada segundo os critérios definidos por Faria (2011)

Tabela D1 – Comparativo da classificação da criticidade de taludes EFVM (continua)											
Criticidade Vale		ATIVO	ATIVO	Faria (2011)		Especialista 1		Especialista 2		Especialista 3	
		km início	km fim	Índice	Classificação	Índice	Classificação	Índice	Classificação	Índice	Classificação
1	A	239+050 LE	240+110	42,03%	Muito Alto	54,54%	Muito Alto	55,39%	Muito Alto	51,68%	Muito Alto
2	A	240+250 LE	241+200	25,35%	Alto	46,58%	Alto	47,34%	Alto	46,75%	Alto
3	A	241+430 LE	242+260	25,35%	Alto	46,58%	Alto	47,34%	Alto	46,75%	Alto
4	A	246+350 LE	247+520	22,29%	Médio	34,70%	Alto	34,92%	Alto	34,64%	Alto
5	A	257+900 LD	258+250	41,80%	Alto	41,41%	Alto	42,09%	Alto	40,93%	Alto
6	A	259+350 LE	260+800	41,80%	Muito Alto	51,55%	Muito Alto	52,26%	Muito Alto	51,76%	Muito Alto
7	A	303+300 LE	305+280	41,71%	Muito Alto	54,54%	Muito Alto	55,39%	Muito Alto	51,68%	Muito Alto
8	A	333+620 LD	337+040	42,03%	Muito Alto	54,54%	Muito Alto	55,39%	Muito Alto	51,68%	Muito Alto
9	A	342+730 LD	343+200	42,03%	Alto	46,14%	Alto	46,51%	Alto	43,50%	Alto
10	A	343+700 LD	343+950	22,29%	Médio	34,70%	Alto	34,92%	Alto	34,64%	Alto
11	A	360+300 LD	361+150	25,35%	Alto	38,18%	Alto	38,47%	Alto	38,57%	Alto
12	A	361+710 LE	363+000	42,03%	Alto	46,58%	Alto	47,34%	Alto	46,75%	Alto
13	A	363+270 LD	366+520	42,03%	Muito Alto	54,54%	Muito Alto	55,39%	Muito Alto	51,68%	Muito Alto
14	B	237+520 LE	237+900	36,84%	Alto	48,60%	Alto	49,35%	Alto	44,99%	Alto
15	B	242+472 LE	243+740	25,35%	Alto	46,58%	Alto	47,34%	Alto	46,75%	Alto
16	B	244+620 LE	245+950	22,29%	Médio	43,09%	Alto	43,79%	Alto	42,82%	Alto
17	B	257+320 LE	258+320	18,61%	Médio	33,75%	Médio	31,89%	Médio	31,55%	Médio
18	B	258+520 LE	259+180	22,29%	Médio	43,09%	Alto	43,79%	Alto	42,82%	Alto
19	B	262+450 LE	264+260	18,29%	Médio	25,36%	Médio	23,02%	Médio	23,37%	Médio
20	B	268+030 LE	270+110	25,35%	Alto	38,18%	Alto	38,47%	Alto	38,57%	Alto
21	B	270+900 LE	272+000	25,35%	Alto	46,58%	Alto	47,34%	Alto	46,75%	Alto

Tabela D1 – Comparativo da classificação da criticidade de taludes EFVM (continuação)											
22	B	272+300 LE	272+720	25,02%	Alto	34,15%	Médio	34,21%	Médio	34,65%	Alto
23	B	284+100 LE	284+600	25,02%	Alto	38,18%	Alto	38,47%	Alto	38,57%	Alto
24	B	284+740 LE	284+950	25,35%	Alto	38,18%	Alto	38,47%	Alto	38,57%	Alto
25	B	286+070 LE	289+400	25,02%	Alto	46,58%	Alto	47,34%	Alto	46,75%	Alto
26	B	294+250 LE	298+755	21,97%	Médio	43,09%	Alto	43,79%	Alto	42,82%	Alto
27	B	300+120 LE	300+540	21,97%	Médio	43,09%	Alto	43,79%	Alto	42,82%	Alto
28	B	300+590 LE	300+760	18,29%	Médio	25,36%	Médio	23,02%	Médio	23,37%	Médio
29	B	301+000 LE	302+020	18,29%	Médio	33,75%	Médio	31,89%	Médio	31,55%	Médio
30	B	302+260 LE	303+110	25,35%	Alto	38,18%	Alto	38,47%	Alto	38,57%	Alto
31	B	305+540 LE	305+770	20,50%	Alto	41,41%	Alto	42,09%	Alto	40,93%	Alto
32	B	314+270 LD	317+500	20,50%	Médio	33,02%	Médio	33,21%	Médio	32,75%	Médio
33	B	319+100 LD	322+850	25,35%	Alto	46,58%	Alto	47,34%	Alto	46,75%	Alto
34	B	323+200 LD	323+580	38,65%	Alto	51,05%	Muito Alto	51,84%	Muito Alto	47,75%	Alto
35	B	326+150 LD	326+700	42,03%	Alto	46,14%	Alto	46,51%	Alto	43,50%	Alto
36	B	338+760 LD	338+985	21,97%	Médio	34,70%	Alto	34,92%	Alto	34,64%	Alto
37	B	348+520 LD	349+140	25,35%	Alto	34,15%	Médio	34,21%	Médio	34,65%	Alto
38	B	349+210 LD	349+570	25,35%	Alto	34,15%	Médio	34,21%	Médio	34,65%	Alto
39	B	355+020 LD	355+600	21,66%	Médio	37,24%	Alto	35,44%	Alto	35,48%	Alto
40	B	358+080 LE	358+250	37,51%	Alto	40,98%	Alto	41,26%	Alto	37,68%	Alto
41	B	361+710 LD	363+000	41,48%	Alto	43,16%	Alto	43,39%	Alto	43,59%	Alto
42	B	366+640 LD	369+630	16,82%	Médio	32,08%	Médio	30,19%	Médio	29,66%	Médio
43	B	369+825 LD	370+250	41,71%	Alto	54,54%	Muito Alto	55,39%	Muito Alto	51,68%	Muito Alto
44	B	381+900 LD	383+615	21,97%	Médio	34,70%	Alto	34,92%	Alto	34,64%	Alto
45	C	232+200 LE	232+900	16,51%	Médio	32,75%	Médio	34,85%	Alto	34,26%	Alto
46	C	232+912 LE	234+170	18,29%	Médio	25,36%	Médio	23,02%	Médio	23,37%	Médio
47	C	234+400 LE	235+220	22,29%	Médio	34,70%	Alto	34,92%	Alto	34,64%	Alto
48	C	235+385 LE	235+840	18,61%	Médio	33,75%	Médio	31,89%	Médio	31,55%	Médio
49	C	235+940 LE	236+470	15,35%	Médio	33,02%	Médio	33,21%	Médio	32,75%	Médio

Tabela D1 – Comparativo da classificação da criticidade de taludes EFVM (continuação)											
50	C	236+745 LE	237+020	16,19%	Médio	37,24%	Alto	35,44%	Alto	35,48%	Alto
51	C	237+175 LE	237+400	28,68%	Alto	27,16%	Médio	28,77%	Médio	25,19%	Médio
52	C	237+980 LE	238+100	32,36%	Alto	35,10%	Alto	35,04%	Alto	31,95%	Médio
53	C	238+240 LE	238+970	16,82%	Médio	43,09%	Alto	43,79%	Alto	42,82%	Alto
54	C	239+700 LD	239+950	28,00%	Alto	22,36%	Médio	23,72%	Médio	20,40%	Baixo
55	C	240+980 LD	241+110	16,47%	Médio	18,43%	Baixo	19,94%	Baixo	19,40%	Baixo
56	C	241+240 LE	241+280	10,99%	Baixo	18,43%	Baixo	19,94%	Baixo	19,40%	Baixo
57	C	247+150 LD	247+420	11,32%	Baixo	26,82%	Médio	28,81%	Médio	27,58%	Médio
58	C	248+550 LE	248+700	15,67%	Médio	27,14%	Médio	26,99%	Médio	27,02%	Médio
59	C	250+225 LE	250+600	11,32%	Baixo	18,43%	Baixo	19,94%	Baixo	19,40%	Baixo
60	C	251+120 LE	252+000	16,82%	Médio	34,70%	Alto	34,92%	Alto	34,64%	Alto
61	C	251+300 LD	251+750	19,87%	Médio	34,15%	Médio	34,21%	Médio	34,65%	Alto
62	C	252+710 LE	254+550	20,50%	Médio	33,02%	Médio	33,21%	Médio	32,75%	Médio
63	C	254+680 LE	256+710	21,97%	Médio	34,70%	Alto	34,92%	Alto	34,64%	Alto
64	C	256+200 LD	256+400	11,99%	Baixo	19,20%	Baixo	20,72%	Baixo	20,27%	Baixo
65	C	257+500 LD	257+800	11,67%	Baixo	19,20%	Baixo	20,72%	Baixo	20,27%	Baixo
66	C	264+400 LE	265+700	20,82%	Médio	28,99%	Médio	28,95%	Médio	28,83%	Médio
67	C	265+950 LD	266+200	11,32%	Baixo	18,43%	Baixo	19,94%	Baixo	19,40%	Baixo
68	C	266+030 LE	267+770	13,46%	Baixo	16,84%	Baixo	18,17%	Baixo	18,23%	Baixo
69	C	266+800 LD	267+550	9,43%	Baixo	11,10%	Baixo	12,35%	Baixo	13,43%	Baixo
70	C	270+400 LE	270+750	16,82%	Médio	34,70%	Alto	34,92%	Alto	34,64%	Alto
71	C	272+820 LE	273+900	38,42%	Alto	39,67%	Alto	39,84%	Alto	39,65%	Alto
72	C	273+900 LD	274+150	11,32%	Baixo	12,55%	Baixo	13,72%	Baixo	13,67%	Baixo
73	C	274+050 LE	274+150	11,32%	Baixo	14,40%	Baixo	15,68%	Baixo	15,47%	Baixo
74	C	275+300 LE	275+535	22,29%	Médio	43,09%	Alto	43,79%	Alto	42,82%	Alto
75	C	275+400 LD	275+535	11,32%	Baixo	12,55%	Baixo	13,72%	Baixo	13,67%	Baixo
76	C	275+620 LE	280+740	21,97%	Médio	34,70%	Alto	34,92%	Alto	34,64%	Alto
77	C	277+350 LD	277+450	11,32%	Baixo	12,55%	Baixo	13,72%	Baixo	13,67%	Baixo

Tabela D1 – Comparativo da classificação da criticidade de taludes EFVM (continuação)											
78	C	277+850 LD	278+040	11,99%	Baixo	19,20%	Baixo	20,72%	Baixo	20,27%	Baixo
79	C	282+150 LD	282+700	11,32%	Baixo	12,55%	Baixo	13,72%	Baixo	13,67%	Baixo
80	C	283+000 LE	283+280	20,82%	Médio	41,41%	Alto	42,09%	Alto	40,93%	Alto
81	C	285+460 LE	285+830	20,82%	Médio	33,02%	Médio	33,21%	Médio	32,75%	Médio
82	C	287+030 LD	287+200	15,00%	Médio	28,22%	Médio	28,17%	Médio	27,96%	Médio
83	C	289+600 LE	291+450	10,99%	Baixo	26,82%	Médio	28,81%	Médio	27,58%	Médio
84	C	290+000 LD	290+200	13,11%	Baixo	23,07%	Médio	22,88%	Médio	24,12%	Médio
85	C	291+550 LE	293+300	14,68%	Médio	32,25%	Médio	32,43%	Médio	31,89%	Médio
86	C	292+400 LD	293+200	15,00%	Médio	26,37%	Médio	26,21%	Médio	26,15%	Médio
87	C	298+400 LD	298+500	14,68%	Médio	26,37%	Médio	26,21%	Médio	26,15%	Médio
88	C	298+700 LD	298+750	12,79%	Baixo	23,07%	Médio	22,88%	Médio	24,12%	Médio
89	C	298+820 LD	298+850	9,11%	Baixo	11,10%	Baixo	12,35%	Baixo	13,43%	Baixo
90	C	298+850 LE	299+900	10,99%	Baixo	18,43%	Baixo	19,94%	Baixo	19,40%	Baixo
91	C	299+240 LD	299+780	11,32%	Baixo	14,40%	Baixo	15,68%	Baixo	15,47%	Baixo
92	C	306+420 LE	306+770	20,82%	Médio	41,41%	Alto	42,09%	Alto	40,93%	Alto
93	C	306+950 LD	307+030	9,43%	Baixo	11,10%	Baixo	12,35%	Baixo	13,43%	Baixo
94	C	307+030 LE	307+150	9,43%	Baixo	9,25%	Baixo	10,39%	Baixo	11,63%	Baixo
95	C	307+250 LD	307+260	9,43%	Baixo	11,10%	Baixo	12,35%	Baixo	13,43%	Baixo
96	C	307+260 LE	307+600	9,11%	Baixo	15,13%	Baixo	16,61%	Baixo	17,36%	Baixo
97	C	307+680 LD	307+760	9,11%	Baixo	11,10%	Baixo	12,35%	Baixo	13,43%	Baixo
98	C	307+850 LD	308+080	9,11%	Baixo	11,10%	Baixo	12,35%	Baixo	13,43%	Baixo
99	C	308+550 LE	313+350	25,02%	Alto	46,58%	Alto	47,34%	Alto	46,75%	Alto
100	C	308+620 LD	308+850	9,11%	Baixo	11,10%	Baixo	12,35%	Baixo	13,43%	Baixo
101	C	311+245 LD	311+330	16,47%	Médio	22,91%	Médio	20,53%	Baixo	20,62%	Baixo
102	C	312+530 LD	313+150	11,32%	Baixo	18,43%	Baixo	19,94%	Baixo	19,40%	Baixo
103	C	314+280 LE	314+520	28,00%	Alto	26,39%	Médio	27,99%	Médio	24,32%	Médio
104	C	316+300 LE	316+850	9,11%	Baixo	15,13%	Baixo	16,61%	Baixo	17,36%	Baixo
105	C	319+120 LE	320+200	10,99%	Baixo	26,82%	Médio	28,81%	Médio	27,58%	Médio

Tabela D1 – Comparativo da classificação da criticidade de taludes EFVM											
											(continuação)
106	C	323+750 LD	324+100	11,32%	Baixo	14,40%	Baixo	15,68%	Baixo	15,47%	Baixo
107	C	323+750 LE	326+100	10,99%	Baixo	14,40%	Baixo	15,68%	Baixo	15,47%	Baixo
108	C	327+020 LD	327+300	21,66%	Médio	24,36%	Médio	25,98%	Médio	26,09%	Médio
109	C	328+150 LE	328+645	11,32%	Baixo	14,40%	Baixo	15,68%	Baixo	15,47%	Baixo
110	C	328+830 LE	329+000	11,32%	Baixo	12,55%	Baixo	13,72%	Baixo	13,67%	Baixo
111	C	329+150 LD	329+400	11,99%	Baixo	13,32%	Baixo	14,50%	Baixo	14,53%	Baixo
112	C	329+830 LD	330+010	11,32%	Baixo	18,43%	Baixo	19,94%	Baixo	19,40%	Baixo
113	C	330+010 LE	332+650	9,43%	Baixo	11,10%	Baixo	12,35%	Baixo	13,43%	Baixo
114	C	332+300 LD	333+100	9,43%	Baixo	9,25%	Baixo	10,39%	Baixo	11,63%	Baixo
115	C	333+900 LE	335+620	15,35%	Médio	41,41%	Alto	42,09%	Alto	40,93%	Alto
116	C	336+330 LE	336+620	28,68%	Alto	40,04%	Alto	38,23%	Alto	34,59%	Alto
117	C	337+410 LD	338+200	9,11%	Baixo	15,13%	Baixo	16,61%	Baixo	17,36%	Baixo
118	C	337+410 LE	337+920	9,11%	Baixo	11,10%	Baixo	12,35%	Baixo	13,43%	Baixo
119	C	339+160 LD	339+250	9,11%	Baixo	9,25%	Baixo	10,39%	Baixo	11,63%	Baixo
120	C	339+580 LD	339+670	10,99%	Baixo	14,40%	Baixo	15,68%	Baixo	15,47%	Baixo
121	C	339+850 LD	339+950	11,32%	Baixo	14,40%	Baixo	15,68%	Baixo	15,47%	Baixo
122	C	340+580 LD	340+805	11,32%	Baixo	14,40%	Baixo	15,68%	Baixo	15,47%	Baixo
123	C	341+150 LD	341+950	11,67%	Baixo	15,17%	Baixo	16,46%	Baixo	16,34%	Baixo
124	C	341+150 LE	341+950	11,32%	Baixo	18,43%	Baixo	19,94%	Baixo	19,40%	Baixo
125	C	344+900 LD	345+190	11,32%	Baixo	26,82%	Médio	28,81%	Médio	27,58%	Médio
126	C	345+560 LD	346+000	16,47%	Médio	31,31%	Médio	29,40%	Médio	28,79%	Médio
127	C	346+140 LD	346+250	15,00%	Médio	32,25%	Médio	32,43%	Médio	31,89%	Médio
128	C	346+615 LD	347+120	14,68%	Médio	32,25%	Médio	32,43%	Médio	31,89%	Médio
129	C	346+770 LE	347+120	19,83%	Médio	32,25%	Médio	32,43%	Médio	31,89%	Médio
130	C	348+420 LE	348+730	15,67%	Médio	33,02%	Médio	33,21%	Médio	32,75%	Médio
131	C	348+980 LE	349+400	37,51%	Alto	40,98%	Alto	41,26%	Alto	37,68%	Alto
132	C	349+630 LD	349+770	11,32%	Baixo	18,43%	Baixo	19,94%	Baixo	19,40%	Baixo
133	C	349+630 LE	350+500	20,82%	Médio	33,02%	Médio	33,21%	Médio	32,75%	Médio

Tabela D1 – Comparativo da classificação da criticidade de taludes EFVM (continuação)											
134	C	349+850 LD	350+060	9,43%	Baixo	15,13%	Baixo	16,61%	Baixo	17,36%	Baixo
135	C	350+180 LD	350+500	9,43%	Baixo	15,13%	Baixo	16,61%	Baixo	17,36%	Baixo
136	C	350+640 LD	351+100	9,11%	Baixo	9,25%	Baixo	10,39%	Baixo	11,63%	Baixo
137	C	350+640 LE	353+010	13,46%	Baixo	20,87%	Baixo	22,43%	Baixo	22,15%	Baixo
138	C	352+340 LD	352+620	10,99%	Baixo	12,55%	Baixo	13,72%	Baixo	13,67%	Baixo
139	C	353+950 LD	354+540	30,14%	Alto	37,23%	Alto	39,35%	Alto	35,26%	Alto
140	C	354+000 LE	354+540	10,99%	Baixo	18,43%	Baixo	19,94%	Baixo	19,40%	Baixo
141	C	354+650 LD	354+840	13,46%	Baixo	14,99%	Baixo	16,21%	Baixo	16,42%	Baixo
142	C	355+450 LE	355+600	9,43%	Baixo	9,25%	Baixo	10,39%	Baixo	11,63%	Baixo
143	C	358+610 LE	358+720	16,47%	Médio	26,82%	Médio	28,81%	Médio	27,58%	Médio
144	C	358+800 LE	359+870	25,02%	Alto	38,18%	Alto	38,47%	Alto	38,57%	Alto
145	C	358+950 LD	359+870	25,02%	Alto	38,18%	Alto	38,47%	Alto	38,57%	Alto
146	C	360+400 LE	360+540	9,11%	Baixo	15,13%	Baixo	16,61%	Baixo	17,36%	Baixo
147	C	360+800 LE	361+150	28,00%	Alto	22,36%	Médio	23,72%	Médio	20,40%	Baixo
148	C	365+770 LE	366+220	9,11%	Baixo	9,25%	Baixo	10,39%	Baixo	11,63%	Baixo
149	C	370+470 LD	372+240	21,34%	Médio	37,24%	Alto	35,44%	Alto	35,48%	Alto
150	C	370+850 LE	371+100	11,32%	Baixo	14,40%	Baixo	15,68%	Baixo	15,47%	Baixo
151	C	371+680 LE	372+200	11,32%	Baixo	14,40%	Baixo	15,68%	Baixo	15,47%	Baixo
152	C	372+260 LD	372+380	10,99%	Baixo	18,43%	Baixo	19,94%	Baixo	19,40%	Baixo
153	C	372+260 LE	372+300	11,32%	Baixo	12,55%	Baixo	13,72%	Baixo	13,67%	Baixo
154	C	372+450 LE	373+065	11,32%	Baixo	12,55%	Baixo	13,72%	Baixo	13,67%	Baixo
155	C	372+500 LD	372+550	10,99%	Baixo	18,43%	Baixo	19,94%	Baixo	19,40%	Baixo
156	C	373+000 LD	374+400	20,82%	Médio	33,02%	Médio	33,21%	Médio	32,75%	Médio
157	C	374+120 LE	374+260	10,99%	Baixo	18,43%	Baixo	19,94%	Baixo	19,40%	Baixo
158	C	374+670 LD	375+000	10,99%	Baixo	26,82%	Médio	28,81%	Médio	27,58%	Médio
159	C	374+680 LE	374+990	10,99%	Baixo	18,43%	Baixo	19,94%	Baixo	19,40%	Baixo
160	C	375+320 LD	376+950	17,14%	Médio	34,70%	Alto	34,92%	Alto	34,64%	Alto
161	C	376+490 LE	376+800	11,32%	Baixo	22,91%	Médio	20,53%	Baixo	20,62%	Baixo

Tabela D1 – Comparativo da classificação da criticidade de taludes EFVM											
											(conclusão)
162	C	378+520 LD	379+315	15,00%	Médio	32,25%	Médio	32,43%	Médio	31,89%	Médio
163	C	378+620 LE	379+200	15,00%	Médio	26,37%	Médio	26,21%	Médio	26,15%	Médio
164	C	380+110 LD	381+120	17,14%	Médio	34,70%	Alto	34,92%	Alto	34,64%	Alto
165	C	381+300 LD	381+600	11,32%	Baixo	18,88%	Baixo	16,27%	Baixo	16,69%	Baixo
166	C	381+400 LE	381+550	16,47%	Médio	22,91%	Médio	20,53%	Baixo	20,62%	Baixo